Environnement Canada
Conservation et Protection

Environment Canada
Conservation and Protection

collection
ENVIROGUIDE

LES BUTYRAL-DÉHYDES

Canada

juin 1985

86-05660/

COLLECTION "ENVIROGUIDE"

La collection "Enviroguide" est constituée de guides d'information technique à utiliser en cas de déversements de matières dangereuses. Chaque guide fournit une masse considérable d'information relative au produit chimique dont il traite. L'information ainsi présentée a pour but d'aider l'utilisateur à mettre sur pied un plan d'intervention en cas d'accident et à évaluer les incidences sur l'environnement que peut avoir tel ou tel polluant. Le contenu de chacun des guides a été vérifié par la Direction des services techniques du Service de la protection de l'environnement avant que ne soit autorisée sa publication. Il est à noter qu'une telle autorisation n'implique pas que le contenu des guides reflète les points de vue ou la politique du Service de la protection de l'environnement. De même, le fait de mentionner des marques déposées ou des noms de produits commerciaux ne doit pas être interprété comme une forme de recommandation.

collection
ENVIROGUIDE

LES BUTYRALDÉHYDES

CONSERVATION
ET PROTECTION

DIRECTION GÉNÉRALE DES PROGRAMMES VISANT
LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION DES SERVICES TECHNIQUES

OTTAWA
JUIN 1985
ENVIRONNEMENT CANADA

Publication
distribuée par le Service des publications
Conservation et Protection
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 1C8

Édition française de
Butyraldehydes
préparée par le Module d'édition française

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1986
N° de cat. En 48-10/49-1986F
ISBN 0-662-93805-4
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

AVANT-PROPOS

La collection "Enviroguide" a été lancée officiellement en 1983. Elle est constituée de guides d'information technique sur les produits chimiques qui sont les plus souvent en cause dans les cas de déversements accidentels. Les guides, qui s'adressent à des spécialistes dans le domaine des déversements, sont conçus pour aider à planifier les interventions d'urgence et évaluer les incidences sur l'environnement.

Vu la grande quantité d'information présentée et le caractère très technique des guides, ces derniers ne s'adressent pas au personnel de première intervention, pour qui existent déjà des manuels plus appropriés.

L'information offerte a été glanée en majeure partie dans des publications déjà existantes. Les auteurs ont pris grand soin, aussi bien au stade de la compilation qu'à celui de la révision, de vérifier la justesse des éléments retenus. Néanmoins, il ne faut pas voir dans la publication de ces éléments d'information une forme de recommandation de la part du gouvernement du Canada ni de quelque autre groupe.

REMERCIEMENTS

La version définitive du présent guide est l'oeuvre du personnel du Service de la protection de l'environnement, qui a procédé à la refonte de nombreux passages du texte initial, ajouté maints renseignements et commentaires et préparé les schémas et les figures.

Le travail préliminaire avait été donné à contrat par Environnement Canada aux firmes M.M. Dillon Consulting Engineers and Planners, Concord Scientific Corporation et Waterloo Engineering Limited.

L'abondance de détails qu'on trouve dans le guide est le fruit de la collaboration de plusieurs personnes, organismes et institutions qui ont fourni des données et des conseils précieux, au stade de la compilation comme au stade de la rédaction. Sous ce rapport, l'Association canadienne des fabricants de produits chimiques mérite des remerciements particuliers.

TABLE DES MATIÈRES

	Avant-propos	III
	Remerciements	III
	Liste des figures	VII
	Liste des tableaux	VII
	Abréviations et symboles	VIII
	Définitions	X
	Sigles	XII
1	**Résumé**	1
2	**Propriétés physiques et chimiques**	4
3	**Production, transport et commerce**	12
3.1	Qualités et teneurs	12
3.2	Fabricants situés au Canada	12
3.3	Autre fournisseur	12
3.4	Centres de production et transport	12
3.5	Volume de production	12
3.6	Fabrication des butyraldéhydes	13
3.6.1	Généralités	13
3.6.2	Procédés	13
3.6.2.1	Oxosynthèse	13
3.6.2.2	Aldolisation	13
3.7	Principales utilisations au Canada	13
3.8	Principal acheteur au Canada	13
4	**Manutention du produit et compatibilité**	14
4.1	Citernes et autres récipients d'expédition	14
4.1.1	Transport en vrac	14
4.1.1.1	Wagons-citernes	14
4.1.1.2	Véhicules-citernes routiers	14
4.1.2	Transport en fûts et autres emballages	14
4.2	Déchargement	14
4.2.1	Équipement et opérations de déchargement des wagons-citernes et véhicules-citernes routiers	14
4.2.2	Spécifications et matériaux de fabrication des organes de déchargement	18
4.3	Compatibilité entre le produit et certains matériaux	21
5	**Fuite et migration du produit**	23
5.1	Aperçu général	23
5.2	Fuite du produit	23
5.2.1	Introduction	23
5.2.2	Nomogrammes de la fuite	24
5.2.2.1	Pourcentage de liquide restant en fonction du temps écoulé	24
5.2.2.2	Débit de fuite en fonction du temps écoulé	26
5.2.3	Exemples de calcul	26
5.3	Diffusion dans l'atmosphère	26
5.3.1	Introduction	26
5.3.2	Nomogrammes de la diffusion du panache de vapeurs	26
5.3.2.1	Débit d'émission des vapeurs en fonction du rayon de la nappe et de la température	29

5.3.2.2	Teneur uniformisée en vapeurs en fonction de la distance sous le vent	31
5.3.2.3	Demi-largeur maximale du panache dangereux	33
5.3.2.4	Distance parcourue par le panache en fonction du temps écoulé	33
5.3.3	Étapes du calcul	33
5.4	Comportement dans l'eau	39
5.4.1	Introduction	39
5.4.2	Nomogrammes de la diffusion du polluant dans l'eau	41
5.4.2.1	Diffusion dans les cours d'eau non soumis aux marées	41
5.4.2.2	Diffusion dans les lacs au repos et autres plans d'eau	44
5.4.3	Exemples de calcul	52
5.4.3.1	Teneur en polluant d'un cours d'eau non soumis aux marées	52
5.4.3.2	Teneur en polluant dans les lacs au repos et autres plans d'eau	52
5.5	Comportement dans le sol de surface et dans le sous-sol	53
5.5.1	Introduction	53
5.5.2	Migration du polluant dans un sol à capacité au champ	53
5.5.3	Coefficient de perméabilité d'un sol saturé vis-à-vis du polluant	53
5.5.4	Types de sol	55
5.5.5	Nomogrammes de la migration	55
5.5.6	Exemple de calcul	55
6	**Protection de l'environnement**	61
6.1	Limites maximales admissibles	61
6.1.1	Qualité de l'eau	61
6.1.2	Qualité d'air ambiant	61
6.2	Toxicité pour les espèces aquatiques	61
6.2.1	Évaluation de la toxicité (États-Unis)	61
6.2.2	Mesures de la toxicité	61
6.3	Toxicité pour les rongeurs	62
6.4	Toxicité dans l'air et sur terre	62
6.5	Dégradation du polluant	62
6.6	Devenir et effets à long terme	63
7	**Protection de la santé**	64
7.1	Normes de qualité d'air ambiant	64
7.2	Données sur l'action irritante	64
7.2.1	Contact avec la peau	64
7.2.2	Contact avec les yeux	65
7.3	Données sur les propriétés organoleptiques	65
7.3.1	Odeur	65
7.3.2	Saveur	65
7.4	Études sur les effets toxiques	66
7.4.1	Inhalation	66
7.4.2	Ingestion	66
7.4.3	Administration par voie sous-cutanée	67
7.4.4	Mutagénicité	67
7.5	Symptômes et conséquences de l'intoxication	67
7.5.1	Inhalation	67
7.5.2	Ingestion	67
7.5.3	Contact avec la peau	68
7.5.4	Contact avec les yeux	68
8	**Compatibilité chimique**	69
8.1	Compatibilité entre les butyraldéhydes et divers agents	69

9	**Mesures d'intervention et de sécurité**	71
9.1	Mesures recommandées	71
9.1.1	Danger d'incendie	71
9.1.2	Moyens d'extinction	71
9.1.3	Mesures d'intervention en cas de déversement	71
9.1.3.1	Information générale	71
9.1.3.2	Déversement sur le sol	71
9.1.3.3	Déversement dans l'eau	72
9.1.4	Élimination du polluant	72
9.1.5	Appareils et vêtements de protection	72
9.1.6	Entreposage	72
10	**Cas d'accidents**	73
10.1	Information générale	73
11	**Identification et dosage du polluant**	74
11.1	Dosage du polluant présent dans l'air (analyse quantitative)	74
11.1.1	Chromatographie liquide haute pression	74
11.2	Identification du polluant présent dans l'air (analyse qualitative)	75
11.3	Dosage du polluant présent dans l'eau (analyse quantitative)	75
11.3.1	Spectrophotométrie dans l'infrarouge	75
11.4	Identification du polluant présent dans l'eau (analyse qualitative)	75
11.5	Dosage du polluant présent dans le sol (analyse quantitative)	76
11.5.1	Spectrophotométrie dans l'infrarouge	76
11.6	Identification du polluant présent dans le sol (analyse qualitative)	76
12	**Références et bibliographie**	77
12.1	Références	77
12.2	Bibliographie	80

LISTE DES FIGURES

1	Tension de vapeur en fonction de la température	9
2	Masse volumique du liquide en fonction de la température	9
3	Miscibilité à l'eau	10
4	Viscosité du liquide en fonction de la température	10
5	Diagramme de phases	11
6	Wagon-citerne de spécification 111A60W1	16
7	Fûts types	20
8	La tôle inférieure du réservoir est perforée	24
9	Pourcentage de liquide restant en fonction du temps écoulé	25
10	Débit de fuite volumique en fonction du temps écoulé	25
11	Formation d'un panache de vapeurs	27
12	Étapes à suivre pour déterminer la zone dangereuse	28
13	Débit d'émission de vapeurs à différentes températures en fonction du rayon de la nappe	29
14	Teneur uniformisée en vapeurs en fonction de la distance sous le vent	32
15	Conversion en g/m^3 du % volumique de la limite inférieure d'inflammabilité	34
16	Conversion des unités de la TLV® (ppm en g/m^3)	35
17	Distance parcourue par le panache en fonction du temps écoulé	36
18	Zone dangereuse maximale sous un vent invariable	40
19	Zone dangereuse maximale sous un vent variable	40
20	Étapes à suivre pour calculer la teneur en polluant d'un cours d'eau non soumis aux marées	42
21	Distance en fonction du temps	43
22	Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal	45
23	Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique	46
24	Alpha en fonction du coefficient de diffusion turbulente	47
25	Delta en fonction de alpha	48
26	Teneur maximale en fonction de delta	49
27	Volume d'eau en fonction du rayon hydraulique	50
28	Teneur moyenne en fonction du volume d'eau	51
29	Migration dans le sous-sol	54
30	Plan d'utilisation des nomogrammes	57
31	Migration dans un sable grossier	58
32	Migration dans un sable limoneux	59
33	Migration dans un till argileux	60

LISTE DES TABLEAUX

1	Nomogrammes de la conversion	8
2	Spécifications CCT/DOT s'appliquant aux wagons-citernes utilisés pour le transport des butyraldéhydes	15
3	Caractéristiques du wagon-citerne de spécification 111A60W1	17
4	Caractéristiques des fûts utilisés pour le transport des butyraldéhydes	19
5	Compatibilité entre le produit et certains matériaux de fabrication	22
6	Catégories météorologiques (de stabilité)	31
7	Demi-largeur maximale du panache dangereux de vapeurs de butyraldéhydes (à 20 °C)	37

ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES

adf	Antidéflagrant
atm	Atmosphère
B	Périmètre mouillé
c.f.	Coupelle fermée
c.o.	Coupelle ouverte
CPG	Chromatographie en phase gazeuse
d	Densité
d vap	Densité de vapeur
d.-v.	Demi-vie
D ext.	Diamètre extérieur
D int.	Diamètre intérieur
DAMM	Diamètre aérodynamique moyen en masse
DBO	Demande biochimique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
D_e	Diamètre d'entrée
DIF	Détecteur d'ionisation à flamme
DMM	Diamètre moyen en masse
DMN	Diamètre moyen en nombre
DMV	Diamètre moyen en volume
DPI	Détecteur à photo-ionisation
D_s	Diamètre de sortie
DL min.*	Dose létale minimale
DL 50*	Dose létale moyenne
DT min.	Dose toxique minimale
et coll.	Et collaborateurs
eV	Électronvolt
f. n. éq.	Fumée normalisée équivalente
gal imp.	Gallon impérial
h	Hauteur
IDLH*	*Immediately Dangerous to Life or Health*
IR	Infrarouge
j	Jour
J	Joule
K	Coefficient de perméabilité
K_0	Coefficient de perméabilité d'un sol saturé
k	Coefficient de perméabilité intrinsèque
l	Litre
L.I.E.	Limite inférieure d'explosibilité
L.I.I.	Limite inférieure d'inflammabilité
L.S.E.	Limite supérieure d'explosibilité
L.S.I.	Limite supérieure d'inflammabilité
m	Masse
M	Molaire
MAK*	Teneur maximale admissible
MAK-D*	Teneur maximale admissible
MAK-K*	Teneur maximale admissible - courte durée
max.	Maximum
mé/l	Milliéquivalent par litre
MIK*	Teneur maximale d'immission
min.	Minimum
mn	Minute
M mol.	Masse moléculaire
M vol.	Masse volumique
mol	Mole
MPT	Moyenne pondérée en fonction du temps
N	Newton
N	Normal
Pa . s	Pascal seconde
pds éq.	Poids équivalent
ppb	Parties par milliard (10^{-9})
ppm	Parties par million (10^{-6})
ppt	Parties par mille (10^{-3})
psi	*Pounds per square inch*
P	Pression
P_c	Pression critique
PEL*	*Permissible Exposure Limit*
Po	Poise
Pt cong.	Point de congélation
Pt déf.	Point de déflagration
Pt dét.	Point de détonation
Pt ébul.	Point d'ébullition
Pt écl.	Point d'éclair
Pt écoul.	Point d'écoulement
Pt fus.	Point de fusion
Pt liq.	Point de liquéfaction
PVC	Chlorure de polyvinyle
q	Débit
q_e	Débit d'entrée
q_f	Débit de fuite
q_m	Débit-masse
q_s	Débit de sortie
q_v	Débit-volume
std	Standard
SM	Spectroscopie de masse
St	Stokes
STEL*	*Short Term Exposure Limit*
t	Tonne
t	Temps
temp.	Température
$temp._a$	Température ambiante
$temp._c$	Température critique
TE 50*	Teneur efficace moyenne
tf	Tonne forte
TI 50*	Teneur inhibitrice moyenne
TLm*	Tolérance moyenne
TL min.*	Teneur létale minimale

TL 50*	Teneur létale moyenne
TLV●*	*Threshold Limit Value*
TLV● -C*	*Threshold Limit Value-Ceiling*
TPN	Température et pression normales
TT min.*	Teneur toxique minimale
u	Vitesse du vent
m	Viscosité
vap	Vapeur
V	Vitesse d'écoulement
V biod.	Vitesse de biodégradation
V évap.	Vitesse d'évaporation
vol.	Volume
°Bé	Degré Baumé
°C	Degré Celsius
ϕ	Diamètre
x	Distance sous le vent
⚔	Ne pas utiliser d'eau comme moyen d'extinction

* Les abréviations suivies d'un astérique sont expliquées dans la section Définitions.

DÉFINITIONS

Les définitions figurant ci-dessous valent pour la collection "Enviroguide". Le lecteur notera qu'elles n'ont pas toujours une portée générale. Pour plus de détails, ou pour d'autres définitions, se reporter au manuel d'introduction de la collection.

Bio-accumulation. - Rétention sans cesse croissante d'une substance dans les tissus d'un organisme tout au long de son existence (le facteur de bioconcentration augmentant sans cesse).

Bio-amplification. - Rétention d'une substance dans les tissus à des teneurs de plus en plus élevées au fur et à mesure que l'on s'élève dans la hiérarchie des organismes de la chaîne alimentaire.

Bioconcentration. - Rétention d'une substance dans les tissus d'un organisme au point que la teneur des tissus en cette substance surpasse la teneur du milieu ambiant en cette substance, à un moment donné de la vie de cet organisme.

Concentration. - Comme ce mot a des sens multiples et parfois mal définis selon qu'il s'agit de chimie, de biologie ou d'écologie, on lui a préféré des termes jugés plus précis, tels titre, teneur et bioconcentration.

Contaminant. - Polluant qui figure sur une liste de produits dangereux, établie en vertu de la Loi sur les contaminants de l'environnement.

Dose létale minimale. - Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la dose définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible dose (autre que la DL 50) d'une substance dont l'absorption, excluant l'inhalation, en une ou plusieurs prises, au bout d'un temps donné, a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. DL min.

Dose létale moyenne (1). - Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la dose qui tue, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. DL 50.

Dose létale moyenne (2). - À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la dose (calculée) d'une substance censée entraîner, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'absorption, excluant l'inhalation, d'une quantité de cette substance par un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. DL 50.

Dose toxique minimale. - La plus faible dose d'une substance, introduite par toute autre voie que l'inhalation, pendant quelque période de temps que ce soit, dont l'absorption a été signalée comme cause d'effet toxique chez des personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. DT min.

Facteur de bioconcentration. - Rapport de la teneur en une substance des tissus d'un organisme exposé (moins la teneur d'un organisme témoin) à la teneur en cette substance du milieu ambiant.

IDLH *(Immediately Dangerous to Life or Health).* - Teneur plafond à laquelle, dans un délai maximal d'exposition de 30 minutes, il est possible à une personne de fuir les lieux exposés sans qu'il n'y ait manifestation de signes fonctionnels d'intoxication, perturbation irréversible de la santé ou décès. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Immission. - Transfert d'un polluant de l'atmosphère vers un "récepteur" qui peut être une personne, un animal, une plante. La teneur maximale d'immission, mentionnée au chapitre 7, se rapporte au polluant retenu dans les poumons. Il s'agit d'un concept d'origine allemande, adopté par l'ISO.

Létal. - En toxicologie, synonyme de mortel.

MAK *(Maximale Arbeidsplatz Konzentration).* - Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RFA.

MAK-D. - Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

MAK-K. - Teneur limite admissible en milieu de travail pour une période très courte ne dépassant pas 30 minutes. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

PEL *(Permissible Exposure Limit).* - Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle peuvent être exposés des travailleurs pendant une période de relève. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Polluant. - Agent physique, chimique ou biologique qui provoque une dégradation dans un milieu donné.

STEL (TLV - *Short Term Exposure Limit).* - Teneur limite à laquelle les travailleurs peuvent être exposés de façon continue pour une courte période sans souffrir d'irritation, de dommage irréversible aux tissus ou d'une narcose suffisamment grave pour accroître la probabilité de blessure par accident, diminuer la capacité de fuir ou réduire physiquement l'efficacité au travail, en prenant pour acquis que la TLV quotidienne n'a pas été dépassée. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

Teneur. - Quantité de matière solide, liquide ou gazeuse, rapportée à une masse ou à un volume d'autres matières dans lesquelles elle est en mélange, suspension ou dissolution.

Teneur efficace moyenne. - Dans le cas de la toxicité pour la micro-faune, il s'agit de la teneur à laquelle se produit, chez 50 p. 100 de la population, pour une durée d'exposition donnée, un effet tel que l'immobilisation, la perte de l'équilibre, une déficience de croissance ou même la mort. Abrév. TE 50.

Teneur inhibitrice moyenne. - Dans le cas de la toxicité pour la micro-flore ou la micro-faune, il s'agit de la toxicité qui inhibe à 50 p. 100 une activité biologique (par exemple, la croissance) en un temps déterminé. Abrév. TI 50.

Teneur létale minimale. - Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la teneur définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible teneur (autre que la TL 50) de l'air en une substance dont l'inhalation a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. TL min.

Teneur létale moyenne (1). - Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la teneur à laquelle meurent, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. TL 50.

Teneur létale moyenne (2). - À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la teneur (calculée) de l'air en une substance dont l'inhalation est censée provoquer, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'exposition d'un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. TL 50.

Teneur plafond. - Teneur maximale admissible établie pour une durée d'exposition bien déterminée, dans le cas d'une substance très toxique. (L'IDLH et la TLV® -C sont des teneurs plafonds.)

Teneur toxique minimale. - La plus faible teneur de l'air en une substance à laquelle des personnes ou des animaux ont été exposés, pour quelque période de temps que ce soit, sans qu'il ait eu d'effet toxique chez les personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. TT min.

Titre (d'une solution, en chimie). - Rapport de la masse d'une substance dissoute

à la masse totale ou du nombre de moles d'un constituant au nombre total de moles.

TLV• *(Threshold Limit Value).* - Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle la majorité des travailleurs peuvent être exposés régulièrement à raison de 8 heures par jour, 5 jours par semaine, sans subir d'effet nocif. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

TLV• -C *(Threshold Limit Value-Ceiling).* - Teneur limite admissible pour un moment donné. Il s'agit d'une valeur plafond définie et déterminée par l'ACGIH.

Tolérance moyenne. - Niveau de tolérance correspondant à la teneur à laquelle 50 p. 100 des sujets d'un test survivent au bout d'un temps donné. Abrév. TLm.

SIGLES

ACGIH	American Conference of Government Industrial Hygienists
ANSI	American National Standards Institute
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWQC	Ambient Water Quality Criteria (USA)
AWWA	American Water Works Association
CAS	Chemical Abstracts Service Registry System
CBG	Chemical Buyer's Guide (USA)
CCD	Condensed Chemical Dictionary (USA)
CCPA	Canadian Chemical Producers Association
CCT	Commission canadienne des transports
CHRIS	Chemical Hazards Response Information System (USA)
DOT	Department of Transportation (USA)
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
ITII	International Technical Information Institute (Japon)
MCA	Manufacturing Chemists Association (USA)
MDT	Ministère des Transports (du Canada)
NACE	National Association of Corrosion Engineers (USA)
NAS	National Academy of Sciences (USA)
NFPA	National Fire Protection Association (USA)
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health
NRC	National Research Council (USA)
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (USA)
STCC	Standard Transportation Commodity Code (Amérique du Nord)

1 RÉSUMÉ

Butyraldéhydes ($CH_3 (CH_2)_2 CHO$) ou $(CH_3)_2 CH (CHO)$ iso
Liquide incolore, d'odeur piquante

Synonymes
n-butyraldéhyde: butanal, *n*-butanal, aldéhyde butylique normal, butaldéhydes, butalydes, aldéhyde butyrique (en anglais: n-*butyraldehyde*)

Iso-butyraldéhyde: iso-butanal, méthyl-2-propanol, isobutyraldéhyde, aldéhyde isobutylique. (en angalis: *iso-butyraldehyde*)

Numéros d'identification
UN1129; CAS 123-72-8; OHM-TADS 7216620; STCC 4908119.

Qualités et teneurs
Qualité commerciale: 97 p. 100 (saturée d'eau); 99,5 p. 100 (sèche).

Dangers immédiats
Incendie. - Produit inflammable. Il y a risque de retour de flamme sur traînée de vapeurs.
Effets sur l'homme. - Le produit est modérément toxique par voie cutanée.
Effets sur l'environnement. - Nocif pour les espèces du milieu aquatique, à de faibles teneurs déjà.

Données relatives aux propriétés physiques

	n-butyraldéhyde	iso-butyraldéhyde
État (15 °C, 1 atm)	Liquide	Liquide
Point d'ébullition	75,7 °C	64,5 °C
Point de fusion	-99,0 °C	-65,9 °C
Inflammabilité	Inflammable	Inflammable
Point d'éclair	-22 °C (c.f.)	-18 °C (c.f.)
Tension de vapeur	12,2 kPa (20 °C	18,4 kPa (20 °C)
Densité relative	0,817 (20°/4 °C)	0,794 (20°/4 °C)
Miscibilité à l'eau	7,9 % (20 °C) (en poids)	6,7 % (20 °C)
Comportement (dans l'eau)	Surnage et se mélange sans réaction	Reste en surface et se mélange sans réaction
Comportement (dans l'air)	Vapeurs plus lourdes que l'air	Vapeurs plus lourdes que l'air
Plage du seuil olfactif	4 à 25 ppb	25 à 300 ppb

Dangers pour l'environnement

Le *n*-butyraldéhyde est nocif pour les espèces du milieu aquatique à de faibles teneurs déjà, en général moins de 10 ppm. La sauvagine sera menacée en cas de déversement du produit dans l'eau. Le *n*-butyraldéhyde se dégrade à une vitesse moyenne et ne présente aucun risque de bioconcentration.

Dangers pour l'homme

Aucune teneur maximale (TLV•) ou teneur immédiatement dangereuse pour la vie ou la santé (IDLH) n'ont été établies.

Effets en cas d'inhalation. - Irritation des muqueuses entraînant: difficultés respiratoires, maux de tête, vomissements, nausées et faiblesse musculaire, et éventuellement perte de conscience.

Effets en cas de contact. - Irritation de la peau et des yeux.

Dispositions immédiates à prendre

- En cas de déversement

Interdire l'accès aux lieux où s'est produit l'accident. Signaler que le produit est "INFLAMMABLE". Appeler les pompiers et prévenir le fabricant. Éliminer les causes possibles d'inflammation et par conséquent arrêter immédiatement tout trafic et toute machinerie en marche. Arrêter l'écoulement du produit et confiner le produit déversé, si cela ne présente aucun danger. Éviter tout contact du produit avec la peau et ne pas inhaler les vapeurs qu'il dégage. Intervenir dos au vent. Empêcher que de l'eau polluée pénètre dans des égouts ou des cours d'eau.

- En cas d'incendie

Utiliser de la mousse anti-alcool, de la poudre sèche ou de la neige carbonique. L'eau est déconseillée pour éteindre le feu car elle peut étaler le produit en flamme. Elle peut par contre servir pour refroidir les récipients exposés aux flammes. Sous l'action de la chaleur dégagée par l'incendie, les récipients risquent d'exploser.

Mesures d'interventions d'urgence

- Déversement sur le sol

Ériger des barrières pour confiner le produit déversé, ou diriger celui-ci vers des surfaces imperméables. Récupérer le liquide au moyen de pompes ou d'autres dispositifs d'aspiration. Pour des quantités peu importantes ou pour récupérer le liquide résiduel, utiliser des sorbants naturels ou toute matière absorbante mais incombustible. Ramasser à la pelle les sorbants imbibés et placer dans des récipients munis d'un couvercle.

• Déversement dans l'eau

Confiner la nappe au moyen de barrages flottants, par dérivation de l'eau ou à l'aide d'obstacles naturels.

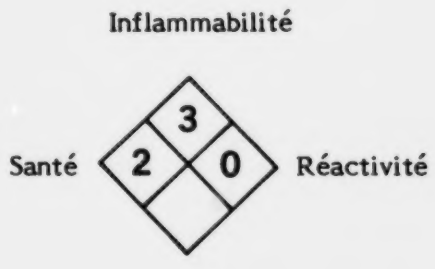
• Fuite de butyraldéhydes dans l'air

L'eau peut servir à disperser les vapeurs. L'eau d'arrosage sera recueillie en vue d'une épuration ultérieure sur place ou dans une station d'épuration.

Niveau de la gravité du risque selon la NAS

	n-	iso-
Incendie	3	3
Santé		
Irritation causée par des vapeurs	2	2
Irritation causée par le produit à l'état liquide ou solide	1	1
Intoxications	2	2
Pollution de l'eau		
Toxicité pour l'homme	1	2
Toxicité pour les espèces vivantes du milieu aquatique	3	2
Atteinte à l'esthétique de l'environnement	3	3
Réactivité		
Autres produits chimiques	2	2
Eau	0	0
Réaction spontanée	1	1

Évaluation du risque selon la NFPA



2 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

	n-butyraldéhyde	Iso-butyraldéhyde
Aspect	Liquide aqueux, incolore (CHRIS, 1978)	
État habituel du produit transporté	Liquide (CCD, 1977)	
État physique (à 15 °C, 1 atm)	Liquide	Liquide
Variables d'état		
Point de fusion	-99 °C (CRC, 1980)	-65,9 °C (Verschueren, 1984)
Point d'ébullition	75,7 °C (CRC, 1980)	64,5 °C (Ullmann, 1975)
Tension de vapeur	12,2 kPa (20 °C) (Kirk-Othmer, 1978)	18,4 kPa (20 °C) (Kirk-Othmer, 1978)
Densités, masse volumique		
Masse volumique	0,8048 g/l (20 °C) (Kirk-Othmer, 1978)	0,7938 g/l (20 °C) (Kirk-Othmer, 1978)
Densité relative	0,8170 (20°/4 °C) (CRC, 1980)	0,7938 (20°/4 °C) (CRC, 1980)
Densité de la vapeur	2,48 (Verschueren, 1984)	2,48 (Verschueren, 1984)
Propriétés relatives à la combustion		
Inflammabilité	Liquide inflammable (NFPA, 1978)	
Point d'éclair - c.f.	-22 °C (NFPA, 1978)	-18 °C (NFPA, 1978)
- c.o.	-9,4 °C (Kirk-Othmer, 1978)	-10,6 °C (Kirk-Othmer, 1978)
Température d'inflammation spontanée	218 °C (NFPA, 1978)	210 °C (NFPA, 1978)
Vitesse de combustion	4,4 mm/mn (CHRIS, 1978)	4,8 mm/mn (CHRIS, 1978)
Limite supérieure d'inflammabilité	12,5 p. 100 (en volume)	10,6 p. 100 (en volume)
Limite inférieure d'inflammabilité	1,9 p. 100 (en volume) (Ullmann, 1975)	1,7 p. 100 (en volume) (Ullmann, 1975)
Chaleur de combustion (25 °C)	2477,1 kJ/mol (Sussex, 1977)	2467,2 kJ/mol (Sussex, 1977)

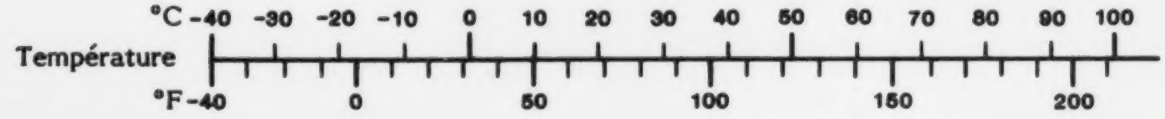
	n-butyraldéhyde	Iso-butyraldéhyde
Produits de la combustion	Eau et bioxyde de carbone (CRC, 1980)	
Risque de retour de flamme	Les vapeurs peuvent se propager à de grandes distances vers une source d'allumage, puis provoquer un retour de flamme (NFPA, 1978).	
Explosibilité	Les vapeurs forment avec l'air des mélanges explosifs (NFPA, 1978).	
Comportement au feu	Les butyraldéhydes s'enflamment facilement; les incendies sont difficiles à contrôler par suite de la facilité de réallumage (NFPA, 1978).	
Solubilité, miscibilité		
Eau	7,9 p. 100 en poids (20 °C) (Kirk-Othmer, 1978)	6,7 p. 100 en poids (20 °C) (Ullmann, 1975)
Autres substances courantes	Miscible à l'éthanol et à l'éther. Très soluble dans l'acétone et le benzène (CRC, 1980)	Soluble dans l'éthanol, l'acétone et le chloroforme (CRC, 1980)
Azéotropes	Avec 60,6 p. 100 d'éthanol, pt. ébul. = 70,7 °C; avec 74,0 p. 100 d'hexane, pt. ébul. = 60 °C; avec 8,8 p. 100 d'eau, pt. ébul. = 68 °C (Ullmann, 1975)	Avec 6,0 p. 100 d'eau, pt. ébul. = 60,5 °C (Ullmann, 1975)
Autres propriétés		
Masse molaire du corps pur	72,12 (CRC, 1980)	72,12 (CRC, 1980)
Composition des qualités commerciales types	97 à 99,5 p. 100 de n-butyraldéhyde (MCA, 1960)	97 p. 100 d'iso-butyraldéhyde (MCA, 1960)
Indice de réfraction	1,3843 (20 °C) (CRC, 1980)	1,3730 (20 °C) (CRC, 1980)

	n-butyraldéhyde	Iso-butyraldéhyde
Viscosité	0,433 mPa . s (20 °C) (Kirk-Othmer, 1978) 0,087 mPa . s (vapeur, à 100 °C) (PPH, 1984)	0,445 mPa . s (20 °C) (Ullmann, 1975)
Tension superficielle avec l'air	24,6 mN/m (20 °C) (CHRIS, 1978) 29,9 mN/m (24 °C) (Ullmann, 1975)	23,2 mN/m (20 °C) (Ullmann, 1975)
Tension interfaciale avec l'eau	5,7 mN/m (22 °C) (CHRIS, 1978)	7,2 mN/m (23 °C) (CHRIS, 1978)
Chaleur latente de fusion (au point de fusion)	11,1 kJ/mol (Lange's Handbook, 1979)	
Chaleur latente de vaporisation (25 °C)	33, 7 kJ/mol (Sussex, 1977)	31,5 kJ/mol (Sussex, 1977)
Chaleur de formation	-241,2 kJ/mol (25 °C) (Sussex, 1977)	-248,9 kJ/mol (25 °C) (Sussex, 1977)
Moment dipolaire	2,72 D (vapeur, à 20 °C) (Kirk-Othmer, 1978)	-
Constante diélectrique	14,9 (20 °C) (Ullmann, 1975)	13,6 (20 °C) (Ullmann, 1975)
Potentiel d'ionisation	9,83 eV (Hernandez, 1977)	9,82 eV (Hernandez, 1977)
Entropie molaire à pression constante à volume constant	153 J/(mol . °C) (Kirk-Othmer, 1978) 141 J/(mol . °C) (Kirk-Othmer, 1978; CHRIS, 1978)	183 J/mol . °C) (Kirk-Othmer, 1978) 167 J/(mol . °C) (Kirk-Othmer, 1978; CHRIS, 1978)
Pression critique	4053 kPa (CHRIS, 1978)	4154 kPa (CHRIS, 1978)
Température critique	248 °C (Ullmann, 1975)	267 °C (Ullmann, 1975)
Coefficient de dilatation thermique	$1,14 \times 10^{-3}$/°C (20 °C) (CCD, 1977)	
Conductivité thermique	$1,42 \times 10^{-3}$ W/(cm . K) (20 °C) $1,67 \times 10^{-4}$ W/(cm . K) (gaz, à 100 °C) (PPH, 1984)	

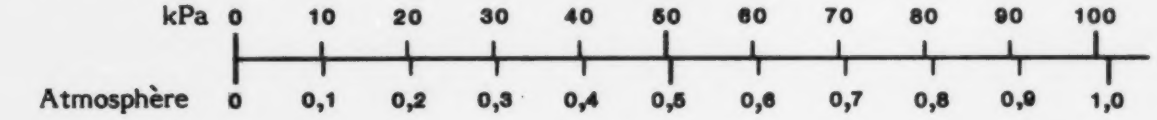
	n-butyraldéhyde	Iso-butyraldéhyde
Teneur saturante (calc.)	436,5 g/m^3 (15 °C) (CRC, 1980)	670,3 g/m^3 (20 °C) (Verschueren, 1984)
Diffusivité (15 °C)	0,086 cm^2/s (Perry, 1973)	
Log_{10} du coefficient de partage octanol/eau (20 °C)	1,20 (Hansch and Leo, 1979) 0,87 (NRC, 1981)	1,20 (Hansch and Leo, 1979)
Vitesse d'évaporation	1,9 g/(m^{2}s) (20 °C, vitesse du vent de 4,5 m/s) (cette étude)	
Facteur de conversion pour les vapeurs (du volume en poids)	1 ppm = 2,993 mg/m^3 (20 °C) (Verschueren, 1984)	

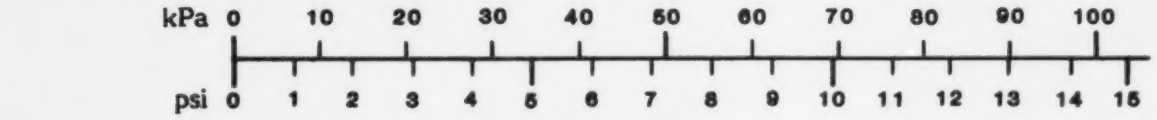
Tableau 1

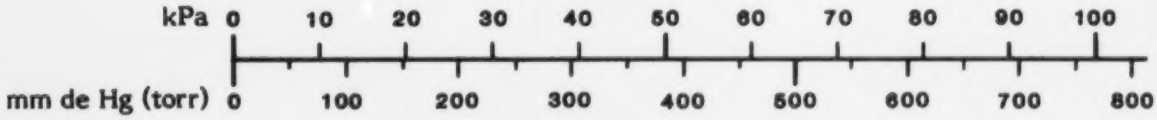
BUTYRALDÉHYDES — NOMOGRAMMES DE CONVERSION



Pression 1 kPa = 1000 Pa







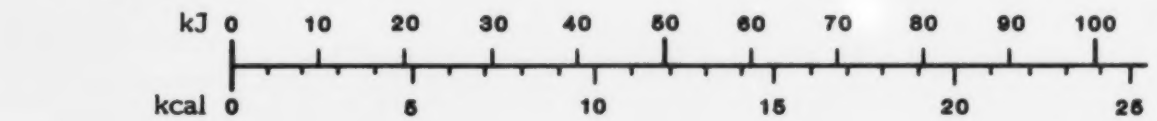
Viscosité

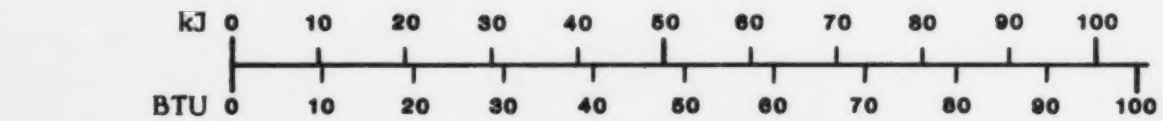
Dynamique 1 Pa . s = 1000 centipoises (cPo)

Cinématique 1 m^2/s = 1 000 000 centistokes (cSt)

Teneur (de l'eau)
1 ppm ≈ 1 mg/l

Énergie (chaleur) 1 kJ = 1000 J





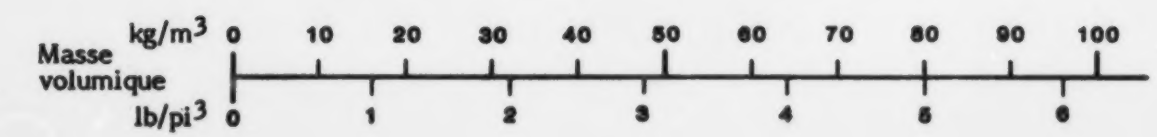


Figure 1

BUTYRALDÉHYDES

TENSION DE VAPEUR
EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Source: ISH, 1977; Kirk-Othmer, 1978

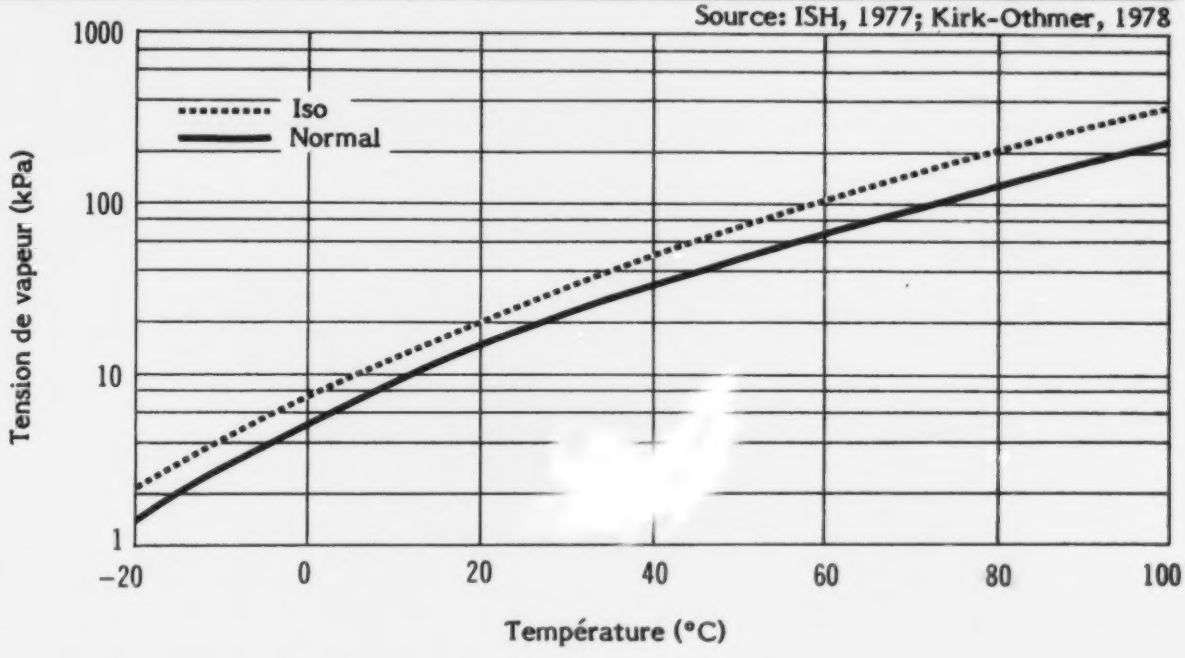


Figure 2

BUTYRALDÉHYDES

MASSE VOLUMIQUE DU LIQUIDE
EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Source: PPH, 1984

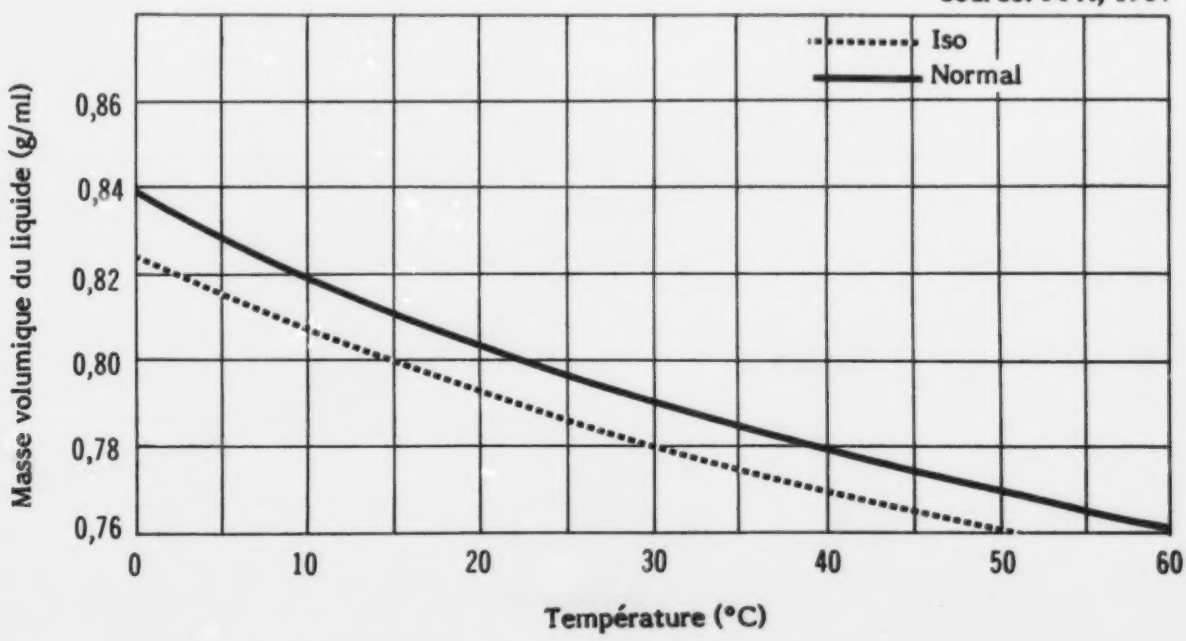


Figure 3

BUTYRALDÉHYDES

MISCIBILITÉ À L'EAU

Source: Ullmann, 1975

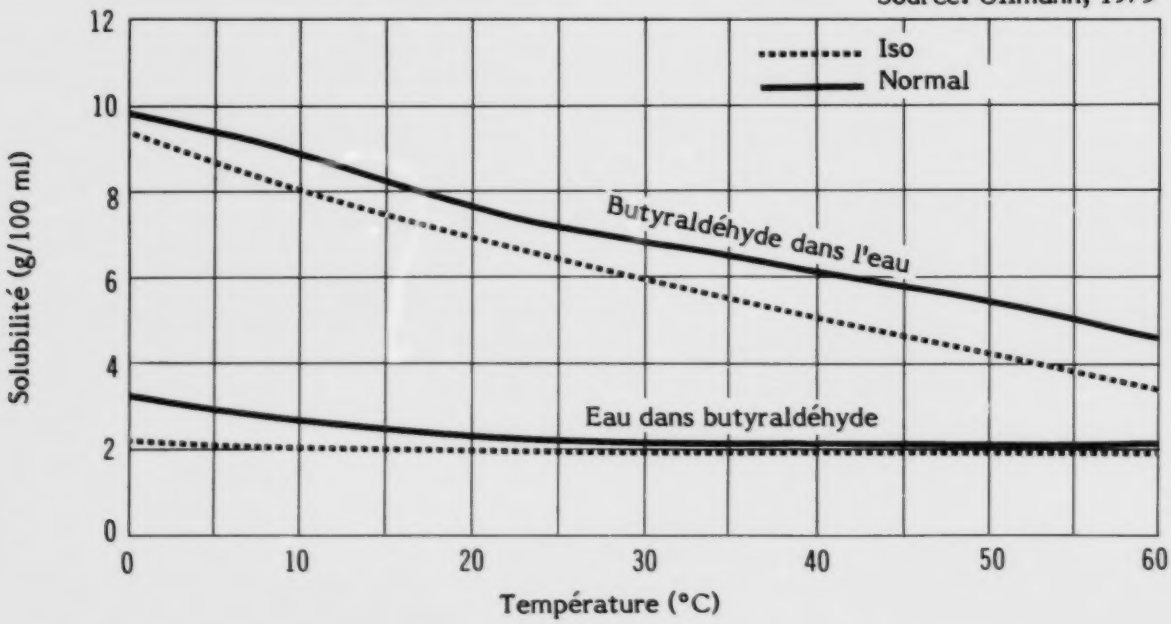


Figure 4

BUTYRALDÉHYDES

VISCOSITÉ DU LIQUIDE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Source: PPH, 1984

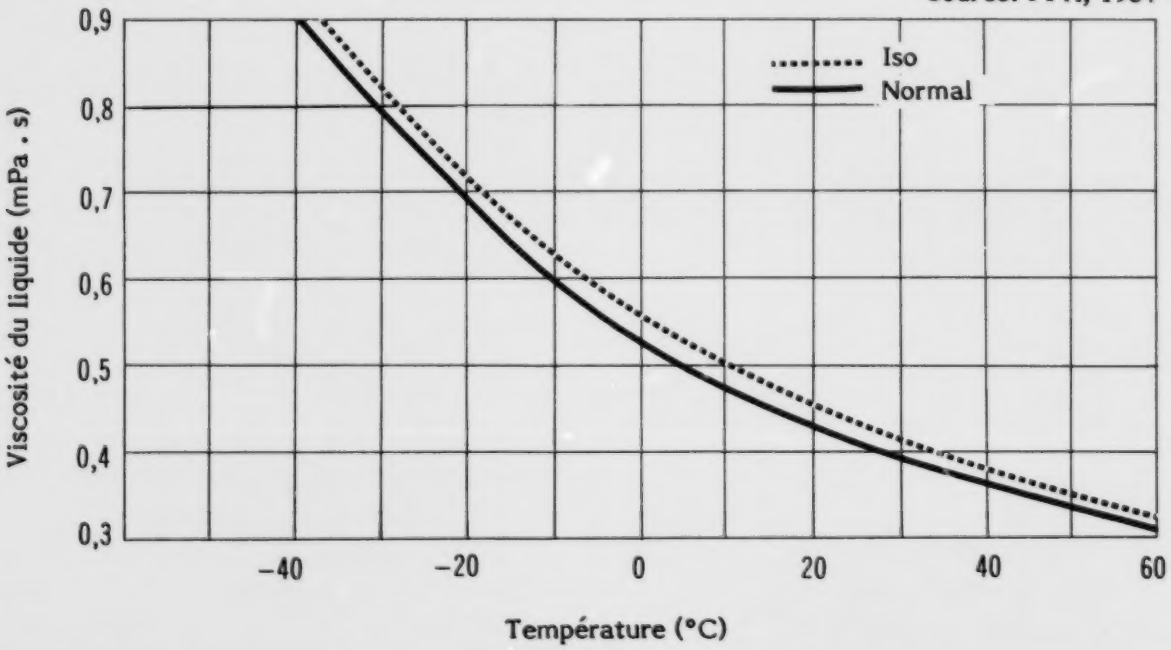
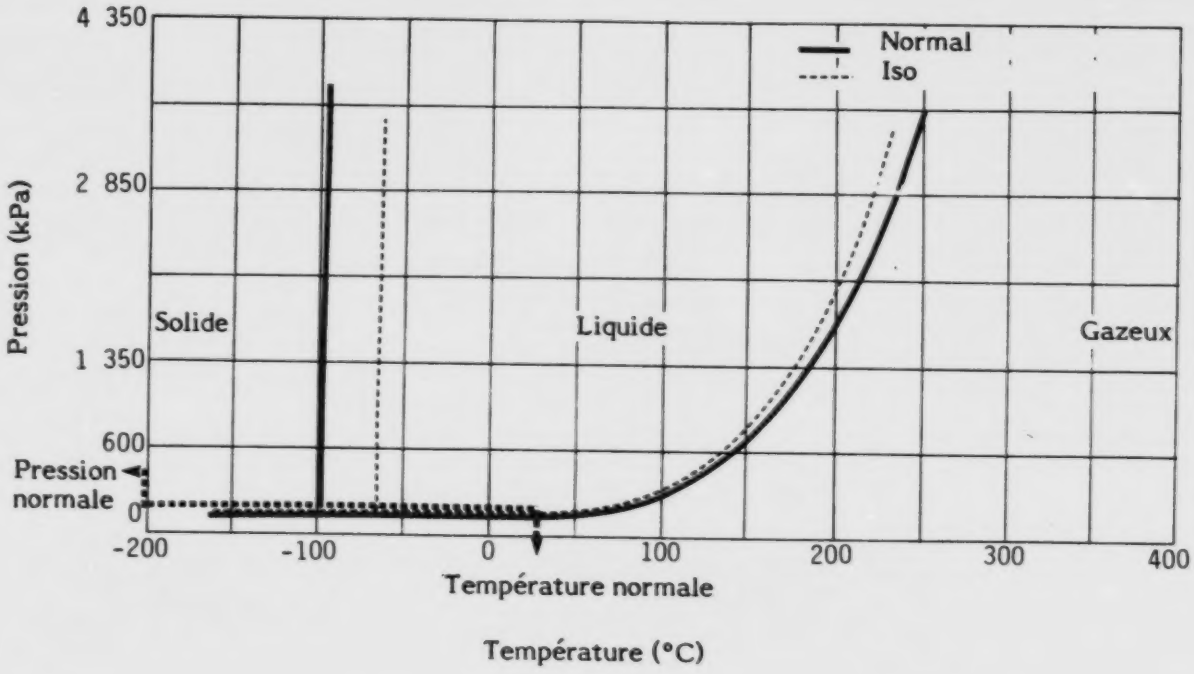


Figure 5

BUTYRALDÉHYDES — **DIAGRAMME DE PHASES**



3 PRODUCTION, TRANSPORT ET COMMERCE

3.1 Qualités et teneurs

Les butyraldéhydes iso- et *n*- sont produits en deux qualités commerciales dont les teneurs, sous forme saturée d'eau ou sèche, sont respectivement de 97 p. 100 et 99,5 p. 100 (MCA, 1960). La composition des qualités commerciales est généralement la suivante (Ullmann, 1975):

	n-butyraldéhyde	iso-butyraldéhyde
Teneur en *n*-butyraldéhyde (en pourcentage)	96,0 (min.)	0,1 (max.)
Teneur en iso-butyraldéhyde (en pourcentage)	0,3 (max.)	95,0 (min.)
Densité relative (20°/4 °C)	0,807 à 0,812	0,790 à 0,794
Indice de réfraction	1,381 à 1,382	1,373 à 1,376
Teneur en eau (en pourcentage)	3,0 (max.)	2,0 (max.)

3.2 Fabricants situés au Canada
(Corpus, 1983; CBG, 1980)

L'adresse qui suit est celle du siège social de la société listée et non celle du service à contacter en cas de déversement.

BASF Canada Ltée, 5850 Côte de Liesse, Montréal (QC), H4T 1C1, Tél.: (514) 341-5411.

3.3 Autre fournisseur (CBG, 1980)

Eastman Chemical International Ltd., 40 Wynford Drive, Don Mills (Ont.), M3A 2L3, tél. (416) 449-1060.

3.4 Centres de production et transport

À l'heure actuelle, toute la production canadienne de butyraldéhydes est centralisée à Laval, au Québec. Un très faible pourcentage de la production est expédié ailleurs que dans l'Est du canada.

3.5 Volume de production (Corpus, 1983)

Société	Emplacement	Capacité nominale (kilotonnes/an, 1982)
BASF Canada*	Laval (QC)	100
Production nationale (1982)		67
Importations		0,03
Total des approvisionnements		67,03

* Employé par la société pour la fabrication de l'éthyl-2 hexanol et des butanols.

3.6 Fabrication des butyraldéhydes (FKC, 1975; Kirk-Othmer, 1978)

3.6.1 Généralités. - Les butyraldéhydes peuvent être fabriqués par oxosynthèse, à partir de propylène et de gaz de synthèse ($CO + H_2$), ou bien à partir d'acétaldéhyde, par condensation aldolique (aldolisation). La BASF de Laval utilise le premier procédé.

3.6.2 Procédés

3.6.2.1 Oxosynthèse. - Dans ce procédé, du propylène titrant 90 à 95 p. 100 est alimenté en même temps que du gaz de synthèse dans un réacteur. La réaction s'opère en phase liquide, à une pression de 10 à 30 mPa et à une température variant entre 120 à 160 °C. Des catalyseurs au cobalt sont généralement employés pour cette réaction:

$$CH_3{=}CH_2 + CO + H_2 \xrightarrow{\text{catalyseur}} \begin{matrix} CH_3CH_2CH_2CHO \\ \textit{n}\text{-butyraldéhyde (70 à 80 p. 100)} \\ + \\ CH_3CH(CHO)CH_3 \\ \text{iso-butyraldéhyde (20 à 30 p. 100)} \end{matrix}$$

Le mélange obtenu est ensuite fractionné pour supprimer les gaz qui n'ont pas réagi et le catalyseur, et aussi pour séparer les isomères.

3.6.2.2 Aldolisation. - La condensation aldolique de l'acétaldéhyde s'effectue selon la réaction suivante:

$$2CH_3CHO \rightarrow CH_3CH_2CH_2CHO$$

Le mélange obtenu par la réaction est purifié par fractionnement.

3.7 Principales utilisations au Canada (Corpus, 1983)

Les butyraldéhydes servent à la production de l'éthyl-2 hexanol, du *n*-butanol, de l'iso-butanol et de caoutchoucs synthétiques. En 1982, 63 p. 100 de la production domestique ont servi à la production de l'éthyl-2 hexanol, et 27 p. 100, à celle des butanols.

3.8 Principal acheteur au Canada (Corpus, 1983)

Uniroyal Chemical, Elmira (Ontario)

4 MANUTENTION DU PRODUIT ET COMPATIBILITÉ DES MATÉRIAUX

4.1 Citernes et autres récipients d'expédition

4.1.1 Transport en vrac. - Les butyraldéhydes sont transportés en vrac dans des wagons-citernes ou des camions-citernes.

4.1.1.1 Wagons-citernes. - Ils doivent être conformes aux spécifications de la CCT et du DOT décrites dans le tableau 2 (RTDCR, 1974). La figure 6 montre un wagon de spécification 111A60W1 et le tableau 3 donne une description détaillée.

Le déchargement des butyraldéhydes se fait au moyen d'une pompe. Le produit est retiré par un tube plongeur débouchant sur la plate-forme supérieure. Ce tube se termine par un raccord de vidange. Aucune pression n'est appliquée pour le déchargement du produit (MCA, 1960). Par contre, le robinet de la phase gazeuse (qui fait également partie de l'organe de vidange par le haut) est raccordé à une conduite d'arrivée de gaz inerte (azote en général), afin de remplir le compartiment de la phase gazeuse (MCA, 1960). Le wagon-citerne doit être équipé d'un évent ou d'une soupape de sécurité débouchant sur la plate-forme supérieure (RTDCR, 1974) et d'un dispositif de jaugeage, à tige ou à ruban. L'organe de vidange par le haut doit être protégé par un capot de protection.

Il est question dans la section 4.2.1 de la technique et de l'équipement utilisés pour le déchargement des wagons-citernes.

4.1.1.2 Véhicules-citernes routiers. - Pour le transport routier des butyraldéhydes, on utilise des camions-citernes dont le réservoir est à la pression atmosphérique (MCA, 1960). La pression nominale de la citerne ne dépassera pas 21 kPa (3 psi). Les autres caractéristiques sont semblables à celles décrites en 4.1.1.1. Le déchargement se fait également par le haut et par pompage. Il est déconseillé d'appliquer une pression d'air ou de gaz pour le déchargement du produit (MCA, 1960).

Pour le déchargement, on utilise le même équipement que celui indiqué pour les wagons-citernes et on observe les mêmes précautions.

4.1.2 Transport dans des fûts et autres emballages. - Les butyraldéhydes sont également transportés dans des fûts dont les caractéristiques sont données au tableau 4. Les fûts peuvent être faits de divers matériaux (TDGC, 1980). Il arrive qu'ils soient conditionnés dans des récipients intérieurs en verre, en terre cuite ou en métal (MCA, 1960).

4.2 Déchargement

4.2.1 Équipement et opérations de déchargement des wagons-citernes et des véhicules-citernes routiers. - Avant de procéder au déchargement, il importe de prendre certaines précautions (MCA, 1960).

Tableau 2

Spécifications CCT/DOT s'appliquant aux wagons-citernes utilisés pour le transport des butyraldéhydes

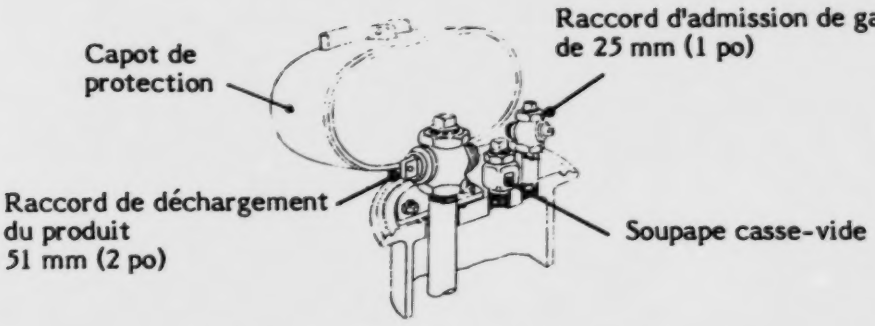
Spécifications	Matériau de fabrication du réservoir	Isolation	Pression d'épreuve kPa (psi)	Dôme	Organe de vidange par le bas	Orifice de purge	Dispositif de jaugeage
103W	Acier	Facultative	414 (60)	Requis	Facultatif	Facultatif	Facultatif
103ALW	Alliage d'aluminium	Facultative	414 (60)	Requis	Facultatif	Facultatif	Facultatif
104W	Acier	Facultative	414 (60)	Requis	Facultatif	Facultatif	Facultatif
105A100W	Acier	Requise	690 (100)	Aucun	Interdit	Interdit	Standard
105A100ALW	Alliage d'aluminium	Requise	690 (100)	Aucun	Interdit	Interdit	Standard
109A100ALW	Alliage d'aluminium	Facultative	690 (100)	Aucun	Interdit	Facultatif	Standard
111A60W1	Acier	Facultative	414 (60)	Aucun	Facultatif	Facultatif	Requis
111A60ALW1	Alliage d'aluminium	Facultative	414 (60)	Aucun	Facultatif	Facultatif	Requis
111A60F1	Acier	Facultative	414 (60)	Aucun	Facultatif	Facultatif	Requis
111A100W3	Acier	Requise	690 (100)	Aucun	Facultatif	Facultatif	Requis
111A100W4	Acier	Requise	690 (100)	Aucun	Interdit	Interdit	Requis
111A100W6	Alliage d'acier	Facultative	690 (100)	Aucun	Facultatif	Facultatif	Requis
112A200W	Acier	Aucune	1380 (200)	Aucun	Interdit	Interdit	Standard
112A400F	Acier	Aucune	2760 (400)	Aucun	Interdit	Interdit	Standard
114A340W	Acier	Aucune	2340 (340)	Aucun	Facultatif	Facultatif	Standard

Figure 6

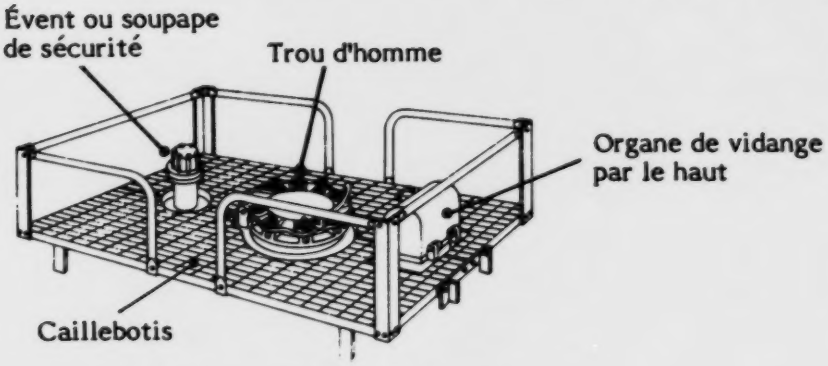
BUTYRALDÉHYDES

WAGON-CITERNE DE SPÉCIFICATION 111A60W1

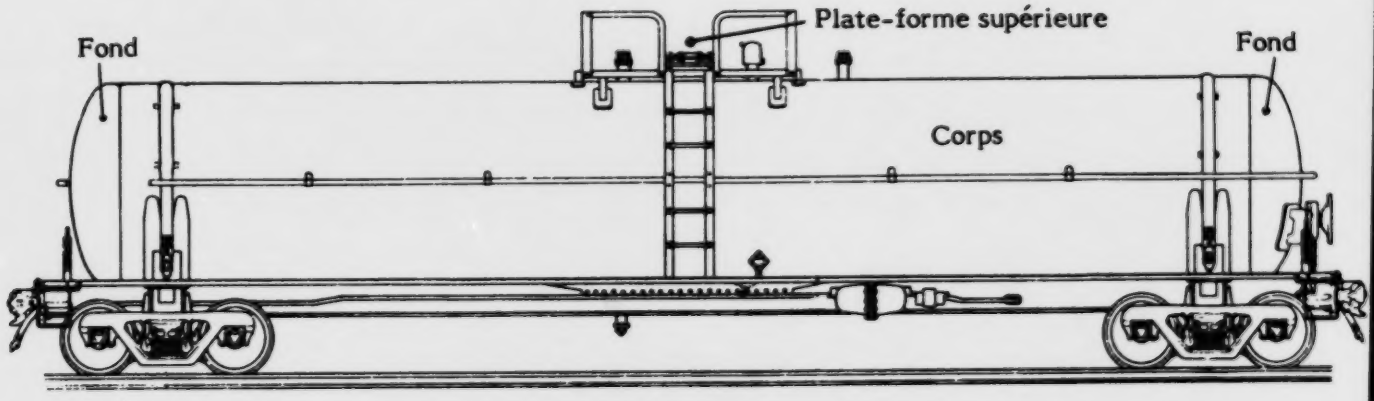
Sources: TCM, 1979; RTDCR, 1974



Détail de l'organe de vidange par le haut



Détail de la plate-forme supérieure



Principaux éléments du wagon-citerne

Tableau 3
Caractéristiques du wagon-citerne de spécification 111A60W1
(TCM, 1979; RTDCR, 1974)

Description	Capacité nominale du réservoir (gal imp.)		
	16 700	17 200	20 000
Structure			
Capacité nominale	75 700 l (16 700 gal)	78 000 l (17 200 gal)	90 900 l (20 000 gal)
Tare (poids à vide)	33 900 kg (74 700 lb)	33 900 kg (74 700 lb)	38 900 kg (85 800 lb)
Masse brute maximale	119 000 kg (263 000 lb)	83 500 kg (184 000 lb)	119 000 kg (263 000 lb)
Réservoir			
Matériau	Acier	Acier	Acier
Épaisseur	11,1 mm (7/16 po)	11,1 mm (7/16 po)	11,1 mm (7/16 po)
Diamètre intérieur	2,60 m (102 po)	2,62 m (103 po)	2,74 m (108 po)
Pression d'épreuve	414 kPa (60 psi)	414 kPa (60 psi)	414 kPa (60 psi)
Pression d'éclatement	1640 kPa (240 psi)	1640 kPa (240 psi)	1640 kPa (240 psi)
Dimensions approximatives			
Longueur avec organes d'attelage	17 m (57 pi)	17 m (57 pi)	18 m (60 pi)
Longueur avec pylônes de choc	16 m (53 pi)	16 m (53 pi)	17 m (57 pi)
Longueur entre pivots de bogie	13 m (42 pi)	13 m (42 pi)	14 m (45 pi)
Hauteur jusqu'au sommet du caillebotis	4 m (12 pi)	4 m (12 pi)	4 m (12 pi)
Hauteur hors-tout	5 m (15 pi)	5 m (15 pi)	5 m (15 pi)
Largeur hors-tout (avec poignées)	3,2 m (127 po)	3,2 m (127 po)	3,2 m (127 po)
Longueur du caillebotis	2 - 3 m (8 - 10 pi)	2 - 3 m (8 - 10 pi)	2 - 3 m (8 - 10 pi)
Largeur du caillebotis	1,5 - 2 m (5 - 6 pi)	1,5 - 2 m (5 - 6 pi)	1,5 - 2 m (5 - 6 pi)
Déchargement par le haut			
Raccord de déchargement	51 mm (2 po)	51 mm (2 po)	51 mm (2 po)
Orifice de remplissage/ trou d'homme	203 - 356 mm (8 - 14 po)	203 - 356 mm (8 - 14 po)	203 - 356 mm (8 - 14 po)
Raccord à air comprimé	25 - 51 mm (1 - 2 po)	25 - 51 mm (1 - 2 po)	25 - 51 mm (1 - 2 po)

Tableau 3 (suite)

Description	Capacité nominale du réservoir (gal imp.)		
	16 700	17 200	20 000
Déchargement par le bas			
Orifice de déchargement par le bas	102 - 152 mm (4 - 6 po)	102 - 152 mm (4 - 6 po)	102 - 152 mm (4 - 6 po)
Dispositifs de sécurité	Évent ou soupape de sécurité		
Dôme	Aucun		
Isolation	Facultative		

- S'assurer que le réservoir de stockage mis à l'air libre peut recevoir tout le contenu du wagon-citerne;
- Si le déchargement se fait de nuit, les dispositifs d'éclairage doivent être antidéflagrants;
- Les employés ne doivent *en aucun cas* pénétrer dans la citerne;
- Les freins doivent être serrés, et les roues calées; mettre en place les dérailleurs et placer les écriteaux voulus;
- Le poste de déchargement doit être doté d'un quai de service sécuritaire;
- Les outils utilisés au cours du déchargement doivent être anti-étincelants;
- Le wagon-citerne doit être pourvu d'une mise à la terre;
- Ne pas procéder au déchargement en cas d'orage électrique.

Procéder au déchargement par le haut comme suit (MCA, 1960):

- Abaisser la pression de vapeur à l'intérieur de la citerne en refroidissant celle-ci avec de l'eau ou en laissant des vapeurs s'échapper dans l'atmosphère à intervalles rapprochés;
- Retirer le capot de protection de l'organe de vidange par le haut et raccorder la conduite de déchargement de 51 mm (2 po);
- Raccorder le robinet de la phase gazeuse à l'amenée d'azote;
- Actionner les pompes.

4.2.2 Spécifications et matériaux de fabrication des organes de déchargement. - Les divers éléments de l'équipement type de déchargement des butyraldéhydes, dont il est ici question, comprennent les conduites et raccords, la robinetterie, les pompes, les réservoirs de stockage et autres. Le tableau 5 indique les matériaux appropriés pour leur fabrication.

Tableau 4
Caractéristiques des fûts utilisés pour le transport des butyraldéhydes

Catégorie	Code	Description	Figure
Acier	1A3	Dessus non amovible, non réutilisable	7
Monel*	TC5M		7
Fûts en acier avec récipient intérieur en matière plastique	6HA1	Tôle extérieure en acier en forme de fût. Récipient intérieur en matière plastique. Contenance de 225 l.	
Fûts en carton avec récipient intérieur en matière plastique	6HG1	Récipient extérieur en carton, de fabrication convolute (plusieurs épaisseurs enroulées concentriquement). Récipient intérieur en matière plastique épousant la forme du fût. Contenance de 225 l.	

* Voir § 4.3.

Les conduites et les raccords devraient être en acier au carbone de la nomenclature 40, sans soudure, spécification A106 de l'ASTM, et seront doublés de fluorure de vinylidène (PVDF). Il faut utiliser des joints à brides soudées de préférence aux conduites et raccords filetés qui ont tendance à fuir après un service de courte durée. Le recuit de détente au point de soudure assure une plus longue durée de service. Les canalisations doivent faire l'objet d'un essai d'étanchéité à l'air comprimé à une pression allant de 345 à 518 kPa (50 à 75 livres par pouce carré au manomètre), après leur installation, et toute fuite sera soigneusement colmatée.

La tuyauterie de vidange est généralement du même diamètre que les raccords de vidange des wagons-citernes, soit 51 mm (2 po). Le diamètre des autres conduites importe peu mais on déconseille toutefois un diamètre inférieur à 25 mm (1 po). Les sections extérieures doivent être du type à purge gravitaire.

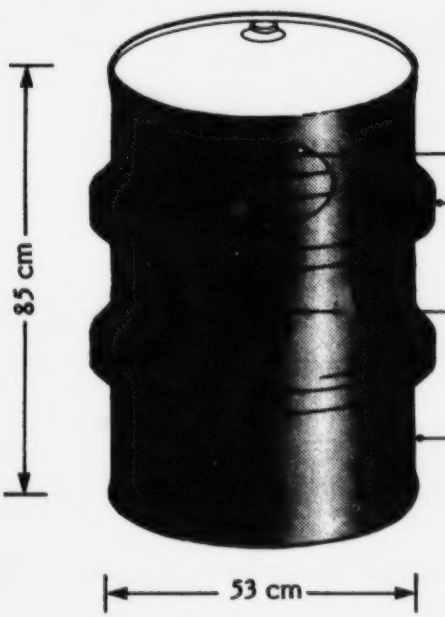
Des joints de dilatation flexibles du type à soufflets devraient être utilisés pour les sections souples de la canalisation de transvasement. Ils sont fabriqués en brides de fer ductile ASA avec des organes expansibles en tétrafluoroéthylène moulé (DOW PPS, 1972). On utilise parfois des flexibles garnis de téflon.

Les soupapes à diaphragme en fonte ou en acier coulé avec revêtement intérieur de polyéther chloré ou de chlorure de polyvinylidène assureront un service adéquat (DOW PPS, 1972). Une pompe centrifuge à admission simple et dont l'extrémité aspirante est

Figure 7

BUTYRALDÉHYDES — **FÛTS TYPES**

Fût en monel



Étiquette d'identification

Joncs de roulage faits de caoutchouc naturel solide et flexible

Diamètre maximal de l'orifice: 59 mm

Corps et dessus fabriqués en monel de 10 mm d'épaisseur

Capacité maximale de 220 l

Fût en acier

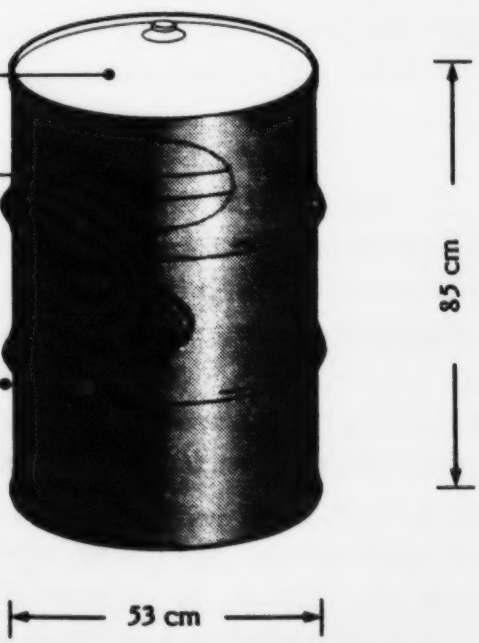
Revêtement intérieur en plomb d'au moins 2,4 mm pour la catégorie 1A1C

Étiquette d'identification

Corps et dessus fabriqués en acier laminé

Capacité maximale: 250 l

Masse nette maximale: 400 kg



faite d'acier inoxydable 316, donne de bons résultats. Il faut prévoir un moyen de purger la pompe afin de pouvoir la réparer en toute sécurité advenant un bris en cours d'utilisation. La pompe doit être munie de brides aux deux extrémités; il est préférable d'éviter les raccords filetés, qui sont sujets aux fuites.

4.3 Compatibilité entre le produit et certains matériaux

Il y a lieu de s'assurer que l'équipement utilisé pour le transvasement de butyraldéhydes est fabriqué en matériaux compatibles avec le produit. Consulter à cette fin le tableau 5. Les termes utilisés pour évaluer les matériaux sont définis ci-dessous:

Recommandé: Convient pour l'utilisation indiquée.

Réserves: Se détériorera dans les circonstances; peut cependant convenir pour une utilisation intermittente ou de courte durée.

Déconseillé: Se détériorera rapidement et fortement et ne devrait pas être utilisé dans le cas présent.

Tableau 5
Compatibilité entre les butyraldéhydes et certains matériaux de fabrication

Utilisation	Titre	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
1. Conduites et raccords	Acide butyrique 100 %	22	PVC I (DPPED, 1967)	PVC II (DPPED, 1967)	Polyéthylène, ABS (DPPED, 1967)
		66	Acier inox (MCA, 1960)		
		66	PVDF (DCRG, 1978)		Polyéther chloré
		24	PVDC (DCRG, 1978)		
2. Robinets	Acide butyrique de tout titre	66	Acier inox 316 (JSSV, 1979)		
3. Pompes	100 %	66	Acier inox (MCA, 1960)		
4. Réservoir de stockage	100 %	66	Acier inox, aluminium, acier au carbone doublé de verre (MCA, 1960) Acier enduit de phénoplaste (Kirk-Othmer, 1978)		
5. Autres	Acide butyrique	66	PVC I (MWPP, 1978)	ABS (MWPP, 1978)	Polyéthylène (MWPP, 1978)
	Presque tous les titres	La plupart	Acier inox, aluminium (Kirk-Othmer, 1978)		

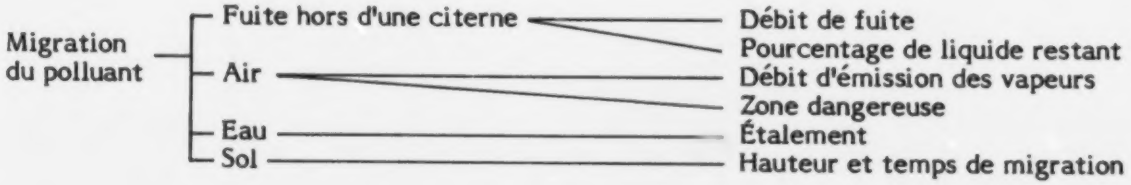
ABS = plastique à base d'acrylonitrile-butadiène-styrène.
PVDC = polychlorure de vinylidène.
PVDF = polyfluorure de vinylidène.

5 FUITE ET MIGRATION DU PRODUIT

5.1 Aperçu général

En cas de déversement dans l'eau, les butyraldéhydes flotteront au début. Le produit étant moyennement soluble, la nappe se dissoudra après un certain temps. Les vapeurs sont inflammables et ont une action irritante. Le nuage de vapeurs demeure en général au ras du sol au lieu de se disperser dans l'atmosphère. Déversé sur le sol, le liquide s'étale et pénètre dans le sol à une vitesse qui varie selon le type de sol et son degré de saturation en eau. La migration du produit jusqu'à la nappe phréatique peut constituer une menace pour l'environnement.

On tiendra compte des facteurs suivants lorsqu'il y a migration de butyraldéhydes dans l'air, l'eau ou le sol.



À cause du caractère approximatif des calculs dans le domaine de la migration des polluants, la méthode adoptée consiste à utiliser des estimations prudentes des paramètres critiques, en prévision du pire. Suivant cette méthode, il se peut que l'on doive poser des hypothèses différentes pour chaque milieu. Cette méthode permet donc de comparer le comportement de différents produits dans les pires scénarios à partir d'hypothèses cohérentes.

5.2 Fuite du produit

5.2.1 Introduction. - Les butyraldéhydes sont habituellement transportés dans des wagons-citernes, à la pression atmosphérique. Comme la capacité des wagons-citernes varie énormement, les nomogrammes des fuites préparés pour la présente collection sont établis en fonction d'une citerne de 80 000 litres.

Si la tôle inférieure d'un réservoir rempli de butyraldéhydes est perforée, tout le liquide s'écoulera sous l'action de la pesanteur. Grâce aux nomogrammes, on pourra facilement calculer la quantité de liquide restant dans la citerne ainsi que le débit de fuite du liquide en fonction du temps. Comme les citernes ne sont pas sous pression et que les butyraldéhydes sont peu volatils, aucun nomogramme n'a été élaboré pour la fuite éventuelle de vapeurs par un orifice qui serait situé au-dessus du niveau du liquide.

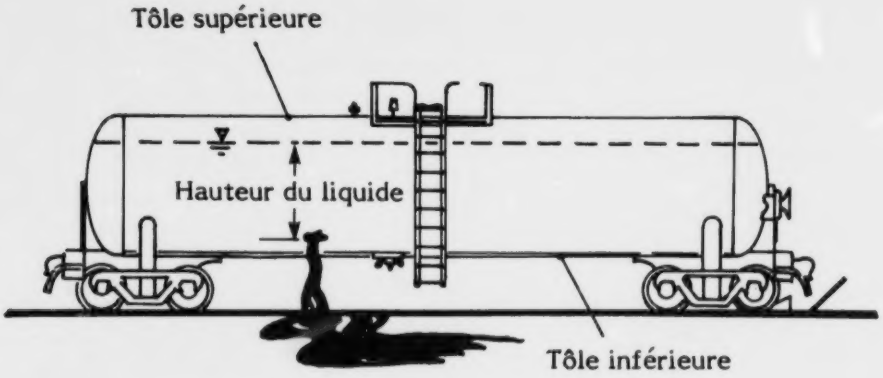


Figure 8 LA TÔLE INFÉRIEURE DU RÉSERVOIR EST PERFORÉE

Dans le cas d'un orifice situé dans le bas d'un réservoir, le débit de fuite q est défini par l'équation standard pour les orifices (Streeter, 1971), Il est fonction de la surface de la section s et de la forme de l'orifice, de la hauteur h de liquide au-dessus de l'orifice et du coefficient de débit C_q. Pour l'établissement du nomogramme, on suppose que C_q est constant (0,8).

5.2.2 Nomogrammes de la fuite

5.2.2.1 Pourcentage de liquide restant en fonction du temps écoulé. - La figure 9 permet d'évaluer le pourcentage de liquide restant dans un wagon-citerne en fonction du temps écoulé depuis le moment de la perforation et en fonction d'un certain nombre de diamètres de l'orifice. Ces diamètres sont des diamètres équivalents et valent pour des orifices de toutes formes.

On suppose que le wagon-citerne est plein au moment de la perforation et qu'il contient de ce fait environ 80 000 litres de butyraldéhydes. Le volume de liquide restant, après un temps *t* écoulé donné, n'est pas seulement fonction du débit de fuite mais aussi de la taille et de la forme du wagon-citerne.

Figure 9

BUTYRALDÉHYDES

POURCENTAGE DE LIQUIDE RESTANT EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ

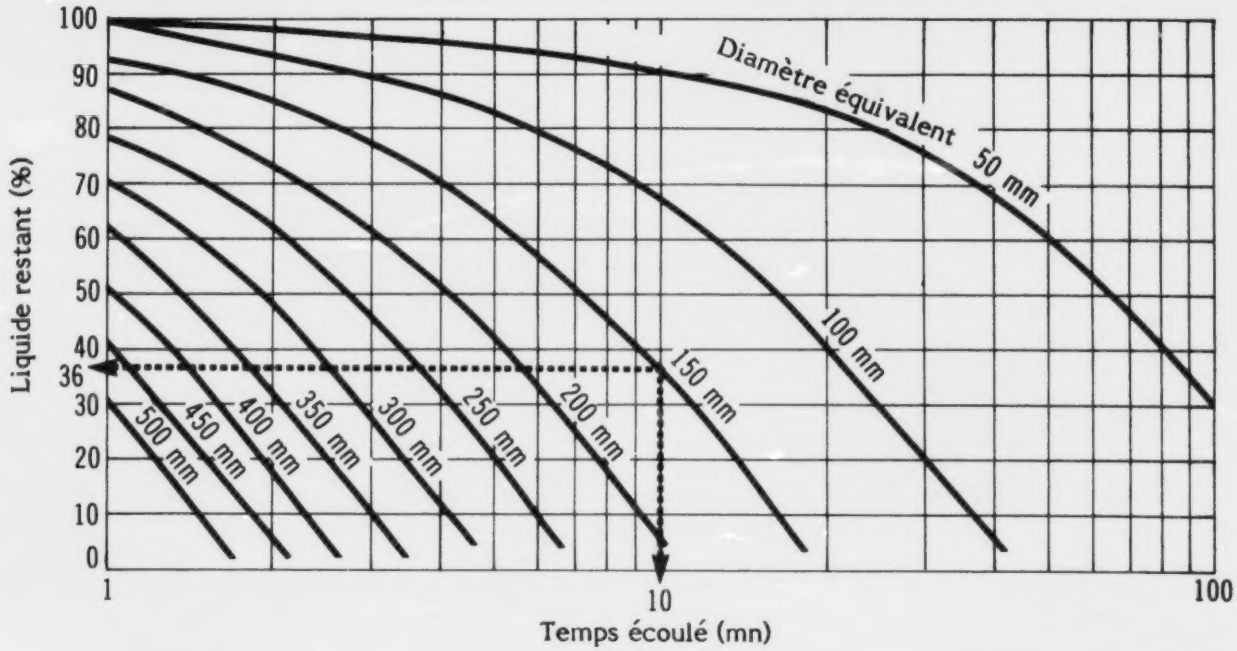
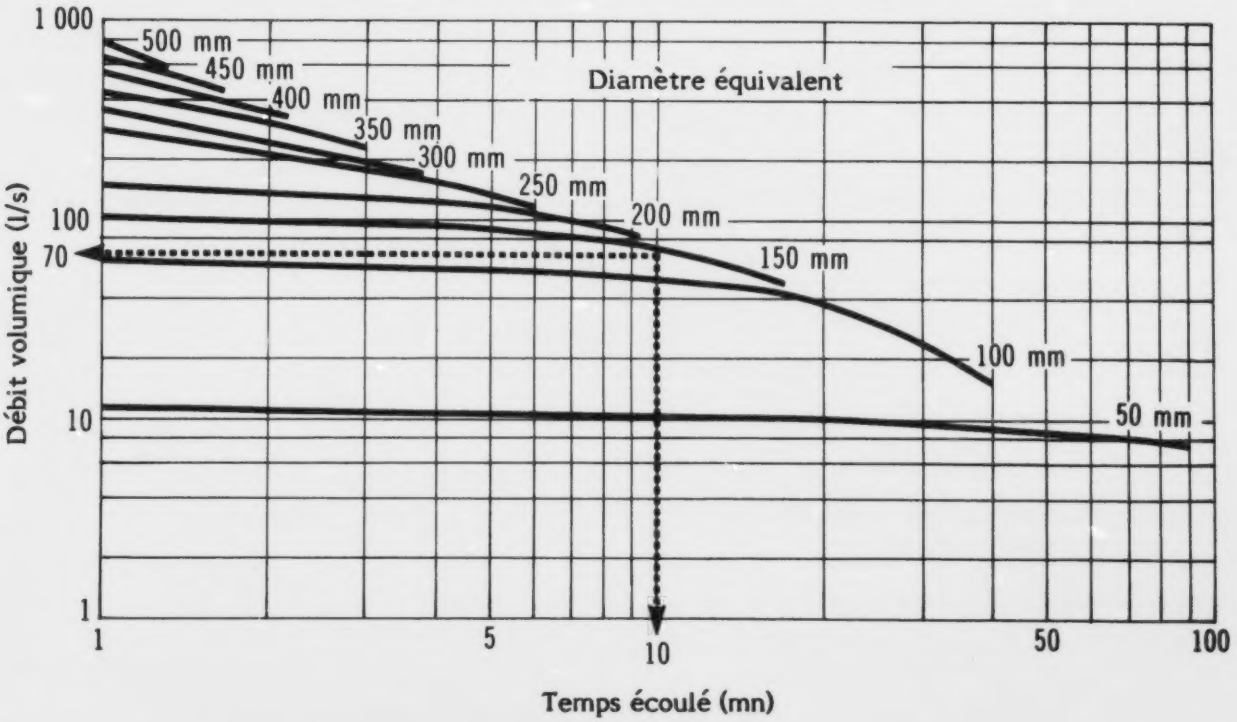


Figure 10

BUTYRALDÉHYDES

DÉBIT DE FUITE VOLUMIQUE EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ



5.2.2.2 Débit de fuite en fonction du temps écoulé. - La figure 10 permet d'évaluer à tout instant le débit de fuite après un temps *t* écoulé donné, en fonction de diamètres équivalents donnés. Le nomogramme ne vaut que pour un wagon-citerne dont le contenu initial est de 80 000 litres.

5.2.3 Exemples de calcul

PROBLÈME A

Il y a eu perforation d'un wagon-citerne type rempli de butyraldéhyde. L'orifice est situé dans la tôle inférieure de la citerne. Son diamètre équivalent est de 150 mm. Quel pourcentage du volume initial de 80 000 l représente le volume de liquide restant après 10 minutes? Solution (voir figure 9): si *t* = 10 mn et D = 150 mm, le volume de liquide restant représente 36 p. 100 (soit 28 800 l) du volume initial.

PROBLÈME B

Les données du problème B étant les mêmes que celles du problème A, quel est le débit instantané 10 minutes après la perforation? Solution (voir figure 10): si *t* = 10 mn et D = 150 mm, le débit instantané q = 70 l/s.

5.3 Diffusion dans l'atmosphère

5.3.1 Introduction. - Comme les butyraldéhydes sont moyennement volatils, une fuite de vapeurs dans l'atmosphère à partir d'un orifice dans la paroi d'une citerne ne présente aucun danger important du côté sous le vent. Il ne sera question dans le présent ouvrage que des vapeurs émises par une nappe de liquide répandu sur le sol ou à la surface de l'eau.

Pour évaluer les teneurs en polluant du côté sous le vent par rapport au lieu de l'accident et déterminer la zone dangereuse sur le plan de la toxicité ou de l'inflammabilité, il faut modéliser le transport et la diffusion (turbulente) des vapeurs dans l'atmosphère. Les modèles utilisés supposent une répartition gaussienne des teneurs au sein du panache; ce sont les plus répandus pour la prévision des teneurs en polluants. (Le lecteur trouvera de plus amples renseignements à ce sujet dans le *Manuel d'introduction Enviroguide.*)

La figure 11 schématise la diffusion d'un panache polluant émis en continu par une aire source. Le modèle de diffusion assimile l'aire source, soit la nappe de liquide, à un point source théorique (possédant le même débit d'émission de vapeurs q), situé en amont, à une distance équivalant à dix fois le rayon de la nappe.

5.3.2 Nomogrammes de la diffusion du panache de vapeurs. - Les nomogrammes de la diffusion atmosphérique du panache servent à déterminer la zone dangereuse sur le plan de la toxicité ou de l'inflammabilité. Les nomogrammes, figures et tableaux présentés ci-dessous apparaissent dans l'ordre dans lequel ils doivent être utilisés, comme le lecteur pourra s'en rendre compte dans les pages qui suivent.

Figure 11

BUTYRALDÉHYDES — **FORMATION D'UN PANACHE DE VAPEURS**

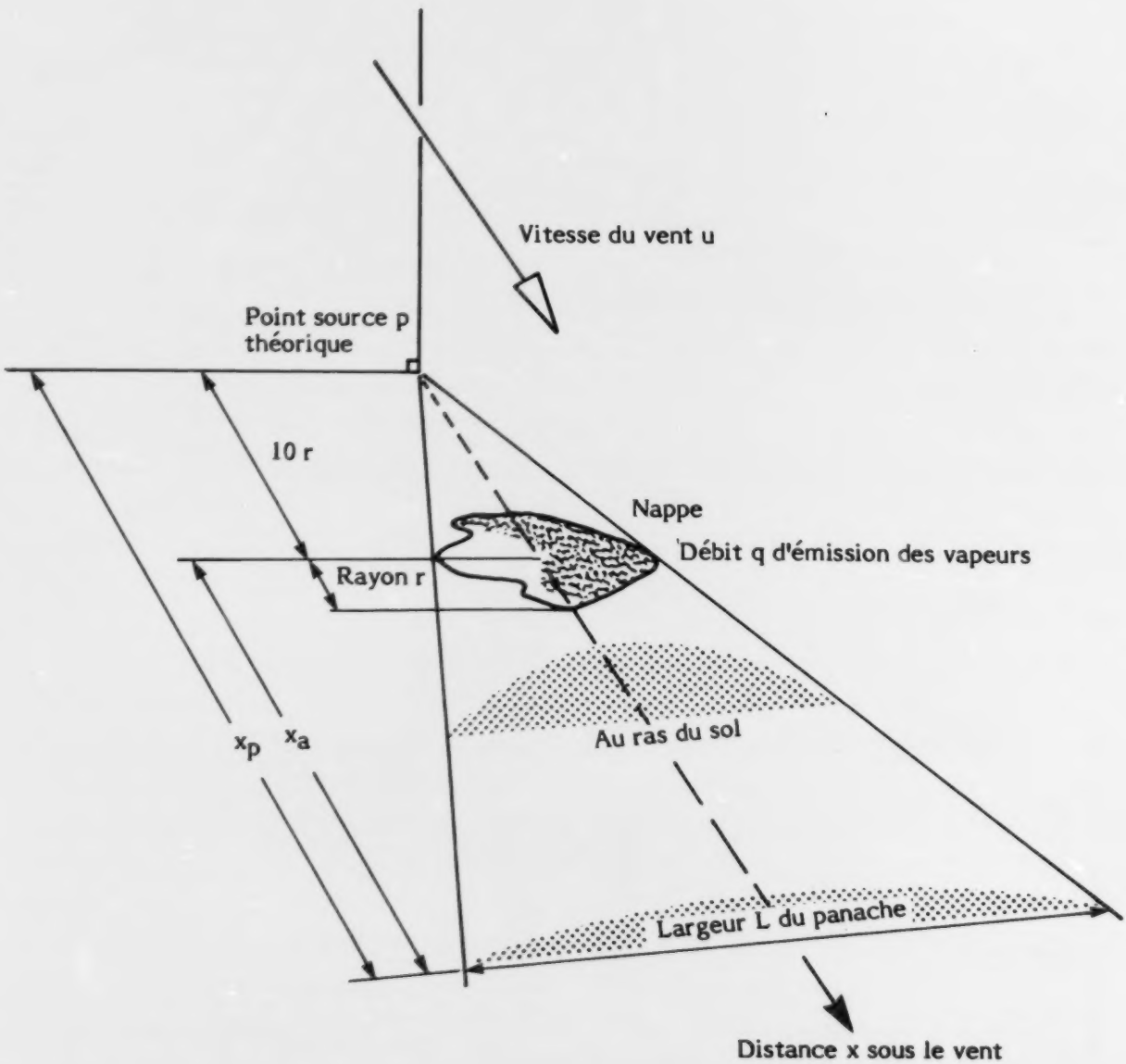


Figure 12

BUTYRALDÉHYDES

ÉTAPES À SUIVRE POUR DÉTERMINER LA ZONE DANGEREUSE

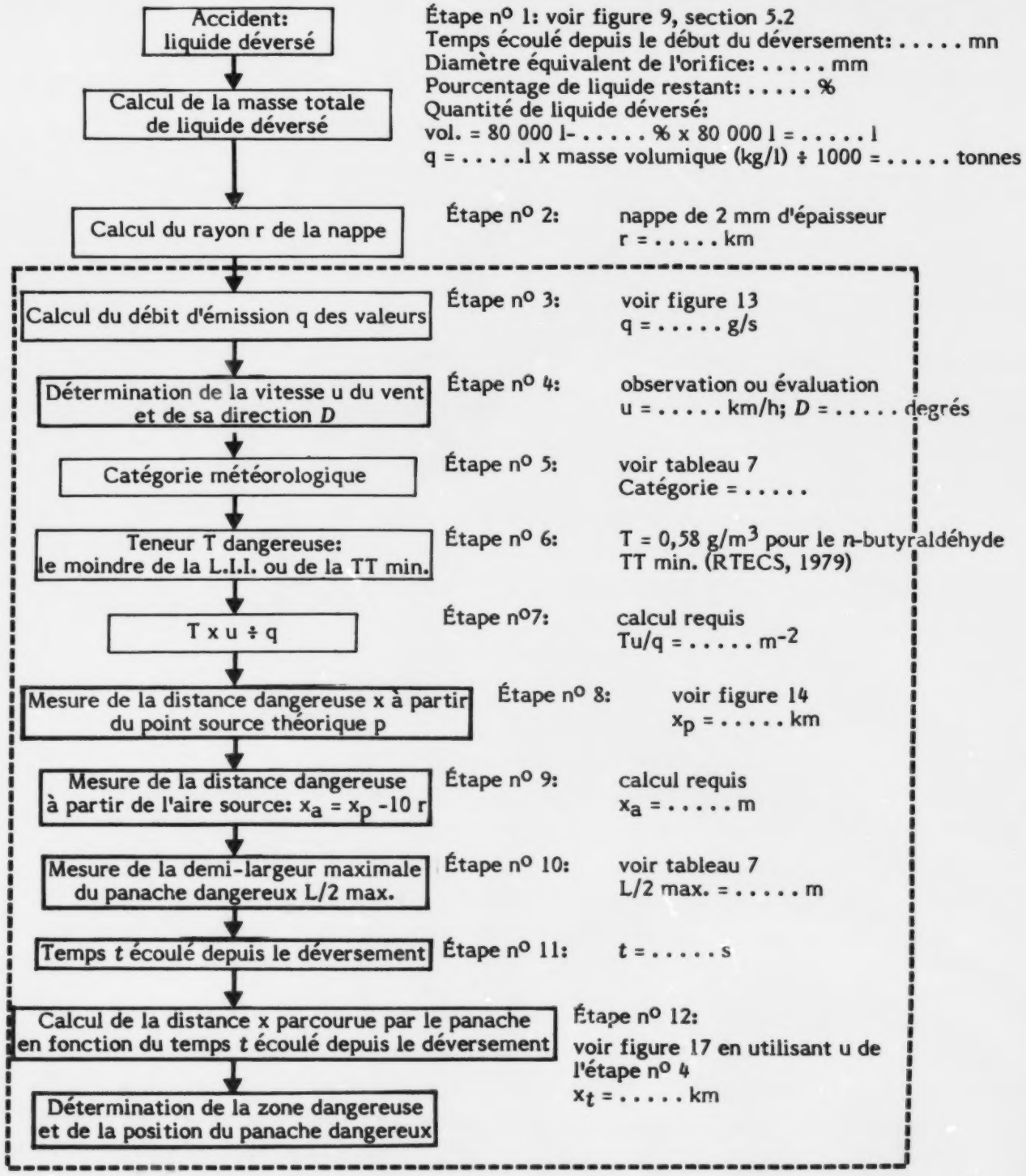


Figure 13 Débit d'émission des vapeurs se dégageant d'une nappe liquide, calculé en fonction du rayon maximal de la nappe

Tableau 6 Catégories météorologiques (de stabilité)

Figure 14 Teneur uniformisée en vapeurs, calculée en fonction d'une distance donnée sous le vent et pour différentes catégories météorologiques

Tableau 7 Demi-largeur maximale du panache dangereux

Figure 17 Distance parcourue par le panache, calculée en fonction du temps écoulé depuis le déversement et pour différentes vitesses du vent

La figure 12 indique les étapes à suivre dans le calcul de la diffusion des vapeurs et dans le choix des nomogrammes et des tableaux à utiliser. En fait, ce sont les étapes encadrées par un pointillé qui servent dans la présente section. (Les données relatives au volume total de liquide déversé figurent à la section 5.2.) Le lecteur trouvera dans les paragraphes qui suivent l'information relative à chacun des nomogrammes de la diffusion et à son utilisation.

5.3.2.1 Débit d'émission des vapeurs en fonction du rayon de la nappe et de la température. - On a calculé le taux d'évaporation du *n*-butyraldéhyde à l'aide des équations sur le taux d'évaporation, données dans le *Manuel d'introduction Enviroguide*. Pour une température égale à 20 °C et une vitesse du vent de 4,5 m/s (16,1 km/h), on a trouvé un taux d'évaporation égal à 1,9 g/(m^{2}s). Aux autres températures, les taux d'évaporation, qui sont fonction de la température ambiante et de la tension de vapeur du *n*-butyraldéhyde à cette température pour une vitesse du vent donnée (Verschueren, 1984) ont été calculés à partir de l'équation du taux d'évaporation. Par exemple, pour une vitesse du vent de 4,5 m/s, on a obtenu des taux d'évaporation de 0,80 g/(m^{2}s) à 0 °C et de 2,95 g/(m^{2}s) à 30 °C.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

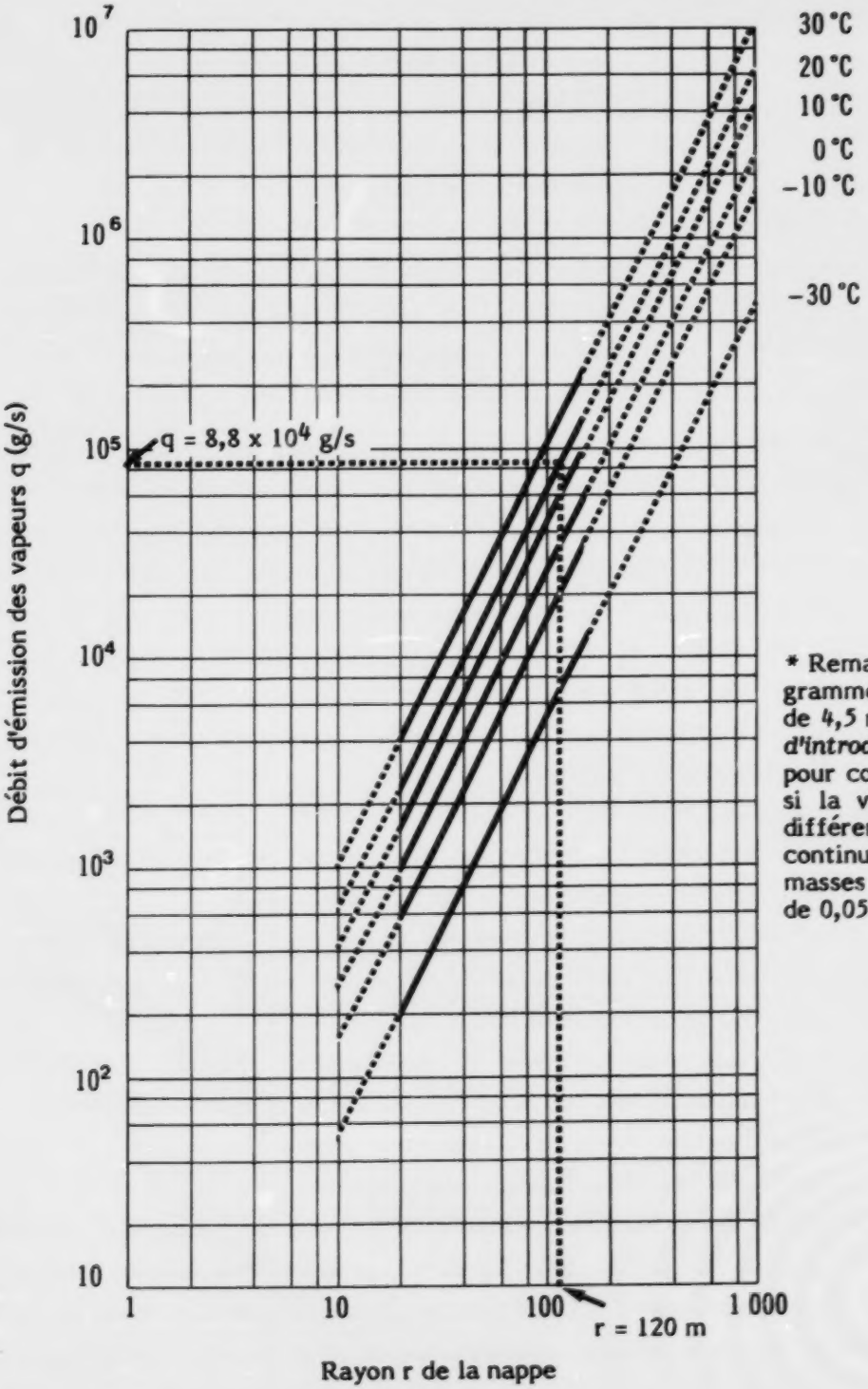
Pour une nappe de butyraldéhydes de rayon connu, le débit q d'émission des vapeurs dans l'atmosphère à une température donnée peut être évalué à l'aide de la figure 13. Les segments continus des droites représentent des quantités déversées allant de 0,05 à 64 tonnes, ce dernier chiffre correspondant à peu près au volume de 80 000 litres contenu dans un wagon-citerne type chargé de butyraldéhydes. Le lecteur notera que la figure 13 vaut pour une vitesse du vent de 4,5 m/s (16,1 km/h); elle ne permet donc qu'une évaluation approximative du débit d'émission pour toute autre vitesse du vent. En revanche, le *Manuel d'introduction Enviroguide* fournit l'équation qui permet d'établir la vitesse d'évaporation pour une vitesse de vent donnée à partir de la valeur calculée pour une vitesse de 4,5 m/s.

Le calcul du débit d'émission est basé sur le rayon d'une nappe à la surface d'un plan d'eau (étendue d'eau calme) (tableau VI, CHRIS, 1974). Le rayon choisi est à mi-chemin entre celui du benzène (liquide moyennement volatil) et celui du nitrite d'isoamyle (liquide non volatil). Ce modèle a été choisi pour des liquides hydrosolubles et dont le point d'ébullition est

Figure 13

BUTYRALDÉHYDES

DÉBIT D'ÉMISSION DES VAPEURS À DIFFÉRENTES TEMPÉRATURES* EN FONCTION DU RAYON DE LA NAPPE



* Remarque. - Le nomogramme vaut pour un vent de 4,5 m/s. Voir le *Manuel d'introduction Enviroguide* pour convertir les valeurs si la vitesse du vent est différente. Les segments continus représentent des masses de liquide déversé de 0,05 à 120 tonnes.

supérieur à la température ambiante, ainsi que pour certains liquides organiques hydrosolubles ou non, dont CHRIS ne fait pas mention. Comme un plan d'eau présente une surface plane et unie, ce qui est rarement le cas lorsqu'il y a un déversement sur terre (sol plutôt poreux et irrégulier), on obtient un rayon maximal, donc des valeurs maximales. Si l'on applique l'algorithme calculé pour un plan d'eau à un déversement sur terre, le rayon sera surestimé et les valeurs obtenues seront celles qui s'appliquent à des cas extrêmes.

5.3.2.2 Teneur uniformisée en vapeurs en fonction de la distance sous le vent. - La figure 14 illustre la relation qui existe entre la teneur en polluant, sous forme de vapeurs, et la distance sous le vent pour les catégories météorologiques D et F. Le nomogramme a été établi à l'aide des modèles de diffusion décrits dans le *Manuel d'introduction Enviroguide*. La teneur en vapeurs est représentée par la teneur uniformisée Tu/q au ras du sol le long de la médiane du panache schématisé. La catégorie F est la moins propice à la diffusion du panache; la catégorie D est la plus fréquente presque partout au Canada. Il faut déterminer la catégorie appropriée (tableau 6) avant d'utiliser la figure 14.

Tableau 6
Catégories météorologiques (de stabilité)

Catégorie F	Catégorie D
Vitesse du vent < 11 km/h (≈ 3 m/s) et l'une des conditions suivantes: ciel couvert durant le jour; nuit; forte inversion de température.	S'applique à pratiquement toutes les autres conditions.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

La distance maximale dangereuse du côté sous le vent x peut être déterminée à l'aide de la figure 14, si l'on connaît:

Le débit d'émission de vapeurs q;

La vitesse du vent u, en m/s;

La catégorie météorologique (de stabilité);

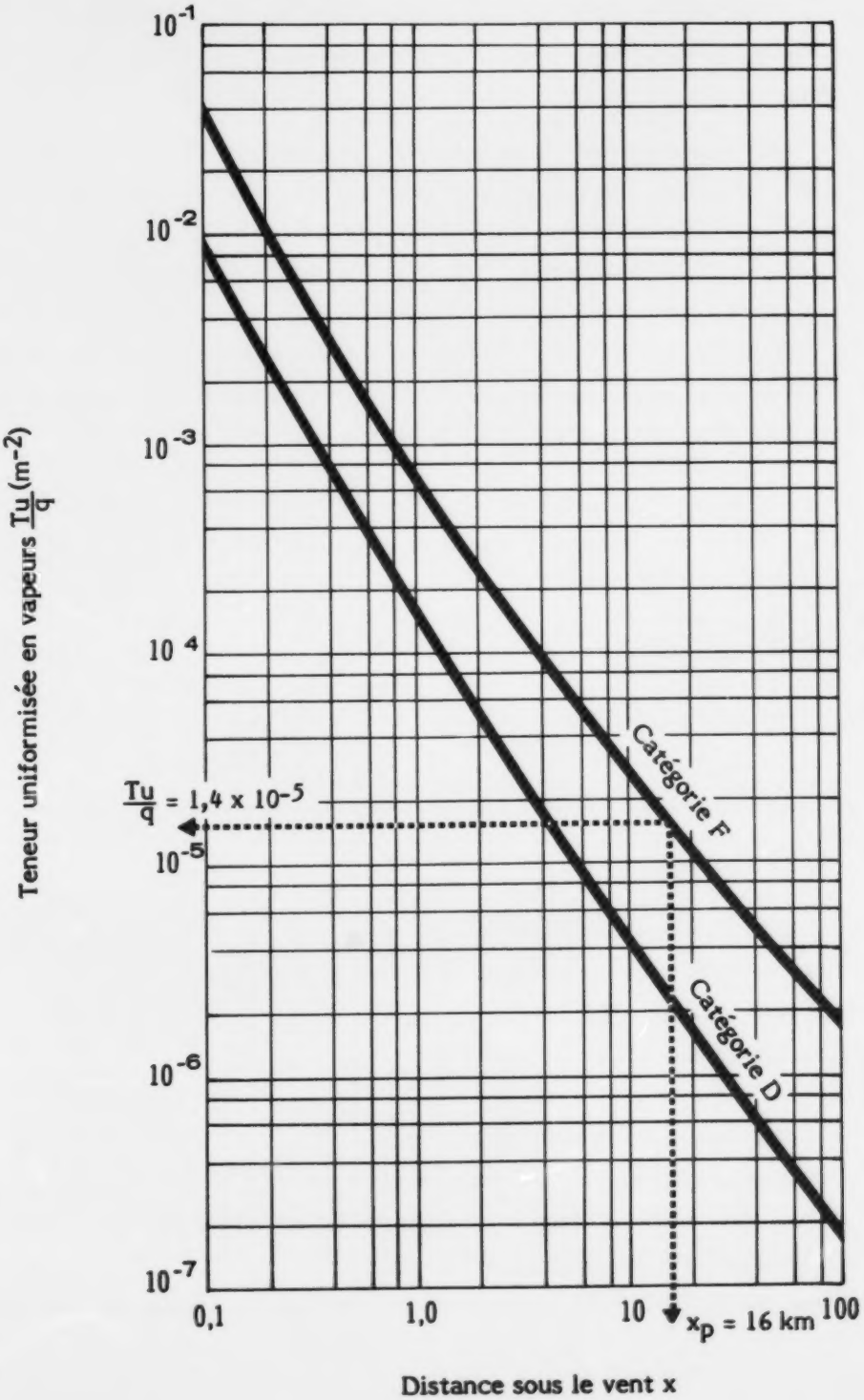
La teneur T dangereuse limite qui, en l'absence d'une valeur TLV• pour le *n*-butyraldéhyde, est la valeur la moindre entre la teneur toxique minimale (TT min.) (en g/m^3) et la limite inférieure d'inflammabilité (L.I.I.) (en g/m^3).

Remarque: Pour convertir la L.I.I., qui est un pourcentage volumique, en une teneur exprimée

Figure 14

BUTYRALDÉHYDES

TENEUR UNIFORMISÉE EN VAPEURS
EN FONCTION DE LA DISTANCE SOUS LE VENT



en g/m^3, se servir de la figure 15. Dans le cas où une valeur autre que la TT min. et exprimée en ppm serait utilisée, on se servira de la figure 16.

5.3.2.3 Demi-largeur maximale du panache dangereux. - Le tableau 7 présente des valeurs de la demi-largeur maximale L/2 max. du panache pour une plage de valeur q/u, en fonction des catégories de stabilité D et F. Ces valeurs ont été calculées à l'aide des modèles de diffusion expliqués dans le *Manuel d'introduction Enviroguide*, en supposant une teneur dangereuse limite égale à la TT min. du *n*-butyraldéhyde, soit 0,58 g/m^3. La demi-largeur maximale du panache dangereux représente la demi-largeur maximale du nuage de vapeurs de butyraldéhyde situé du côté sous le vent et atteignant une teneur égale à la TT min. Le tableau 7 ne s'applique donc que dans le cas de cette teneur limite de 0,58 g/m^3. À noter que la distance maximale considérée est de 100 kilomètres.

Dans les conditions (météorologiques) de stabilité D, la plage de vitesses du vent s'étend de 1 à 30 m/s. Par ailleurs, l'éventail de masses de vapeurs émises, dans le tableau 7, va de 7500 à 4 000 000 g/s, qui correspondent respectivement à un déversement de 0,5 à 600 tonnes de butyraldéhyde. Si tout le contenu, soit 80 000 l (17 600 gal imp.) d'un wagon-citerne était déversé, cela représenterait une masse de 64 200 kg (approx. 64 tonnes). Le tableau 8 pour la catégorie D, fournit des chiffres calculés en fonction de masses 93 fois plus considérables.

Dans les conditions (météorologiques) de stabilité F, la plage de vitesses du vent s'étend de 1 à 3 m/s. Le tableau 7 comporte un éventail de masses de vapeurs émises qui va de 750 à 350 000 g/s, c.-à-d. 0,05 à 170 tonnes de butyraldéhyde déversé, pour des conditions de catégorie F. Ainsi, pour la catégorie F, le tableau 7 fournit des chiffres calculés en fonction de masses représentant environ 2,5 fois le poids utile d'un wagon-citerne type.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

La masse de vapeurs émises étant connue, de même que la catégorie de stabilité, choisir la valeur la plus proche fournie dans le tableau et la demi-largeur maximale correspondante. Si vous désirez une valeur intermédiaire, déterminez par interpolation q/u et L/2 max. (Voir aussi l'exemple qui accompagne le tableau 7.)

5.3.2.4 Distance parcourue par le panache en fonction du temps écoulé. - La figure 17 indique la distance x parcourue par le panache après un temps *t* de déplacement pour une vitesse de vent u donnée. Il s'agit de la représentation graphique de la relation $x_t = ut$ appliquée à un éventail de vitesses du vent courantes.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

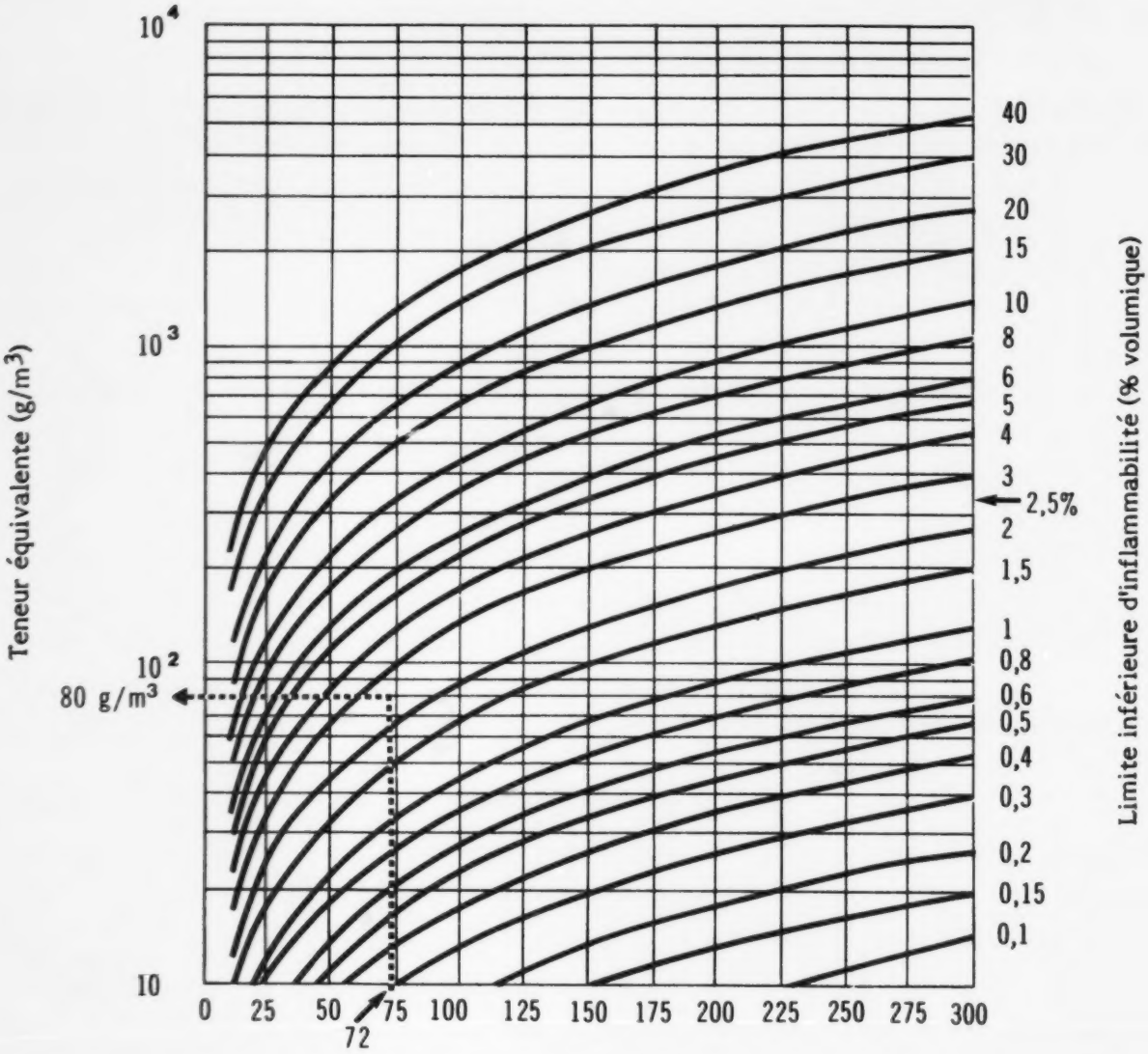
La vitesse u du vent et le temps *t* de déplacement du panache étant connus, la distance x_t parcourue du côté sous le vent peut être obtenue.

5.3.3 Étapes du calcul. - L'exemple donné ci-dessous illustre les étapes à suivre dans le calcul qui permet de déterminer la zone dangereuse sous le vent à partir du lieu où se produit

Figure 15

BUTYRALDÉHYDES

CONVERSION EN g/m³ DU % VOLUMIQUE DE LA LIMITE INFÉRIEURE D'INFLAMMABILITÉ

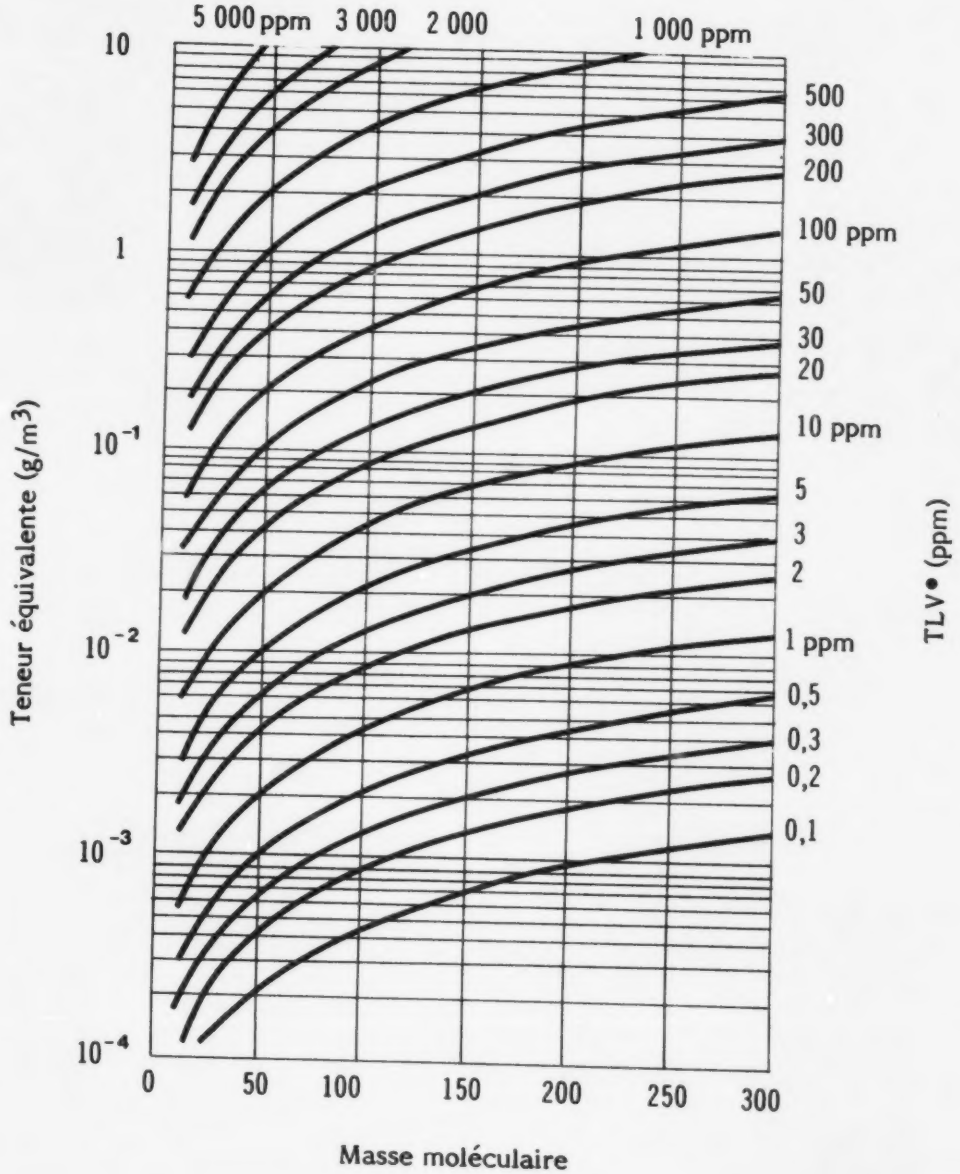


Exemple - Masse moléculaire du butyraldéhyde = 72, L.I.I. = 2,5 %, alors L.I.I en g/m³ = 80.
Note. - Ces données valent pour une temp. de 25 °C et une pression de Hg de 760 mm.

BUTYRALDÉHYDES

Figure 16

CONVERSION DES UNITÉS DE LA TLV• (ppm en g/m^3)



Vu que la TT min. du butyraldéhyde est exprimée en g/m^3, aucun exemple n'est donné. Le nomogramme peut servir advenant qu'une autre valeur, exprimée en ppm, soit utilisée.

Note. - Ces données valent pour une température de 25 °C et une pression de Hg de 760 mm.

Figure 17

BUTYRALDÉHYDES

DISTANCE PARCOURUE PAR LE PANACHE EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ

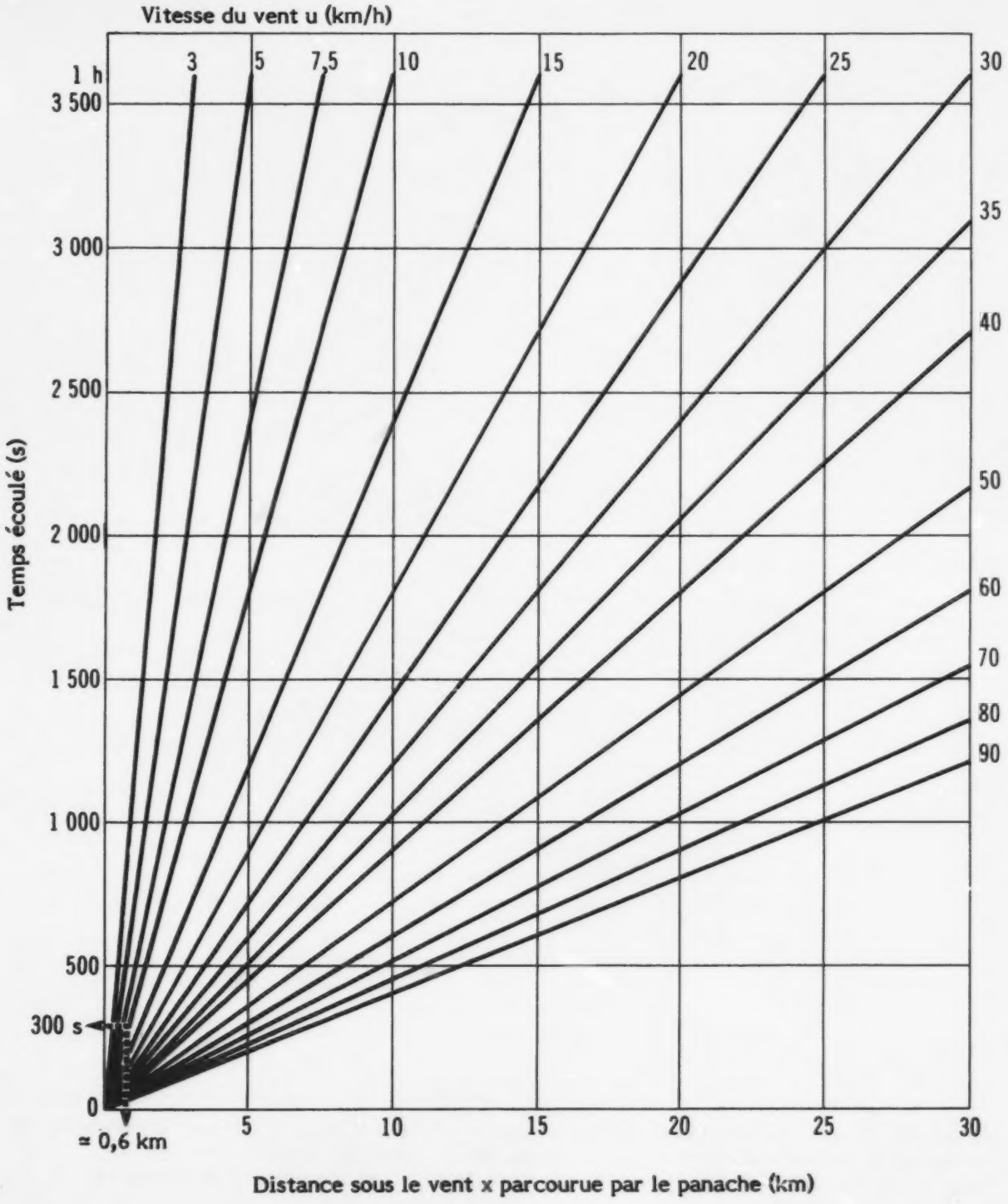


Tableau 7
Demi-largeur maximale du panache dangereux de vapeurs de butyraldéhydes (à 20 °C)

Catégorie météorologique D			Catégorie météorologique F		
q/u (g/m)	L/2 max. (m)		q/u (g/m)	L/2 max. (m)	
4 000 000	3 400	(99,5 km)*	350 000	1 435	(99,5 km)*
3 500 000	3 130		300 000	1 280	
3 000 000	2 845		250 000	1 120	
2 500 000	2 540		200 000	950	
2 000 000	2 210		150 000	765	
1 500 000	1 850		100 000	565	
1 000 000	1 440		75 000	455	
750 000	1 205	q/u = 41 900 →	50 000	340	→ L/2 max. = 340 m
500 000	940		25 000	220	
350 000	750		10 000	120	
250 000	610		7 500	100	
200 000	540		5 000	80	
150 000	460		2 500	50	
100 000	360		1 000	30	
75 000	305		500	20	
50 000	240		250	15	
25 000	160				
10 000	90				
5 000	65				
2 500	45				
1 000	30				
500	20				
250	15				

*Les données valent pour une distance maximale sous le vent de 100 km.

Remarque: Les données ci-dessus valent pour une teneur en butyraldéhyde égale à la TT min., soit 0,58 g/m^3.

Exemple: Pour un débit d'émission q = 8,8 x 10^4 g/s, une catégorie de stabilité F et une vitesse du vent u de 2,1 m/s, q/u = 41 900 g/m, ce qui donne une demi-largeur maximale du panache dangereux L/2 max. de 340 m.

un déversement. L'utilisateur prendra note des limites des méthodes de calcul décrites dans le présent guide ou dans le *Manuel d'introduction Envroguide*. Les estimations ne valent que pour les conditions précisées. Il est souhaitable que l'utilisateur se serve de données connues ou observables (par exemple, le rayon de la nappe).

DONNÉES DU PROBLÈME

Au cours de la nuit, vers 2 h, 20 tonnes de butyraldéhyde ont été déversées sur un sol plat. Il est maintenant 2 h 05. La température est de 20 °C et le vent souffle du nord-ouest à une vitesse de 7,5 km/h. Déterminer la zone de vapeurs dangereuses.

Étape 1 La quantité de liquide déversé est de 20 tonnes.

Étape 2 Calculer le rayon r de la nappe.

Utiliser le rayon mesuré sur place si cela est possible.

Sinon, utiliser le rayon maximal calculé en fonction d'une épaisseur de la nappe de 4 mm.

r = 120 ÷ 1000 = 0,12 km.

Étape 3 Calculer le débit d'émission q à temp. = 20 °C.

r = 120 m et temp. = 20 °C, $q = 8{,}8 \times 10^4$ g/s.

Étape 4 Déterminer la vitesse du vent u et sa direction *D*.

Utiliser l'information accessible sur les conditions météorologiques, de préférence à partir d'observations faites sur le terrain. Ici:

u = 7,5 km/h; alors u = 7,5 ÷ 3,6 = 2,1 m/s;

D = N.-O. ou 315° (*D* = direction d'où souffle le vent).

Étape 5 Déterminer la catégorie de stabilité.

Le tableau 6 permet d'établir qu'il s'agit de la catégorie F, puisque u < 11 km/h et que le déversement s'est produit au cours de la nuit.

Étape 6 Déterminer la teneur T dangereuse limite.

Il s'agit de la valeur la moindre entre la TT min. et la L.I.I. (limite inférieure d'inflammabilité). Pour le *n*-butyraldéhyde, TT min. = 0,58 g/m^3; L.I.I. = 80 g/m^3, donc T = 0,58 g/m^3.

Étape 7 Calculer Tu/q.

$$Tu/q = \frac{0{,}58 \times 2{,}1}{8{,}8 \times 10^4} = 1{,}38 \times 10^{-5}\ m^{-2}.$$

Étape 8 Calculer la distance maximale dangereuse du côté sous le vent x à partir du point source p théorique.

Se servir de la figure 14. Pour une catégorie F de stabilité

si $Tu/q = 1{,}4 \times 10^{-5}\ m^{-2}$, x_p = 16 km.

Étape 9 Calculer la distance dangereuse maximale du côté sous le vent x à partir de l'aire source a.

Comme x_p = 16 km et r = 0,12 km,

$x_a = x_p - 10\ r$ = 16 km - 10(0,12 km) = 14,8 km.

Étape 10 Calculer la demi-largeur maximale du panache dangereux.

Se servir du tableau 7. Comme $q = 8{,}8 \times 10^4$ g/s et $u = 2{,}1$ m/s

$$q/u = \frac{8{,}8 \times 10^4}{2{,}1} = 41\,900 \text{ g/m}$$

Pour la catégorie F de conditions météorologiques, la valeur de q/u la plus proche est de 50 000 g/m, ce qui donne une demi-largeur maximale d'environ 340 m.

Étape 11 Déterminer le temps t écoulé depuis le début du déversement.

$t = 5$ mn x 60 = 300 s.

Étape 12 Calculer la distance sous le vent x parcourue par le panache depuis le début du déversement.

Se servir de la figure 17. Comme $t = 300$ s et $u = 7{,}5$ km/h,

$x_t = 0{,}6$ km (plus précisément: $ut = 2{,}1$ m/s et 300 s = 630 m = 0,63 km).

Étape 13 Schématiser la zone dangereuse.

Cela se fait en formant un rectangle dont deux des côtés opposés mesurent (chacun) deux fois la demi-largeur maximale du panache dangereux (340 m), alors que les deux autres côtés mesurent (chacun) l'équivalent de la distance maximale dangereuse sous le vent à partir de l'aire source, soit 14,8 km, et sont orientés dans la direction du vent (voir figure 18).

Si le vent ne fluctue que de 20° (315° ± 10°) le schéma de la zone dangereuse correspond à la figure 19.

Note. - Au cours des 5 minutes qui se sont écoulées depuis le début du déversement, le panache a franchi 0,63 km. Sous un vent de 7,5 km/h, il s'écoulerait encore 113 minutes avant que le panache franchisse la distance maximale dangereuse sous le vent, soit 14,8 km.

5.4 Comportement dans l'eau

5.4.1 Introduction. - Lorsque du butyraldéhyde est déversé dans l'eau, il flottera puis se mélangera à celle-ci. En général, le phénomène de mélange peut être décrit par les équations de diffusion classiques, comportant un ou plusieurs coefficients de diffusion. Dans les cours d'eau, le mélange est surtout le résultat d'un écoulement turbulent, alors que dans un plan d'eau (étendue d'eau calme), il s'effectue par diffusion moléculaire.

Pour évaluer la teneur en polluant de l'eau d'un cours d'eau en aval du lieu d'un déversement, les auteurs ont utilisé un modèle de diffusion turbulente. Le modèle utilisé est unidimensionnel; il établit un canal rectangulaire théorique et suppose une teneur uniforme en polluant dans toute section donnée de l'écoulement (section mouillée). En pratique, une telle uniformité n'est possible qu'en des points situés assez loin en aval du lieu du déversement, là où les mécanismes de mélange et de dilution ont joué suffisamment pour produire une répartition égale du polluant à travers le canal. Le modèle s'applique aux cours d'eau dont le rapport

Figure 18

BUTYRALDÉHYDES — ZONE DANGEREUSE MAXIMALE SOUS UN VENT INVARIABLE
EXEMPLE DE PROBLÈME

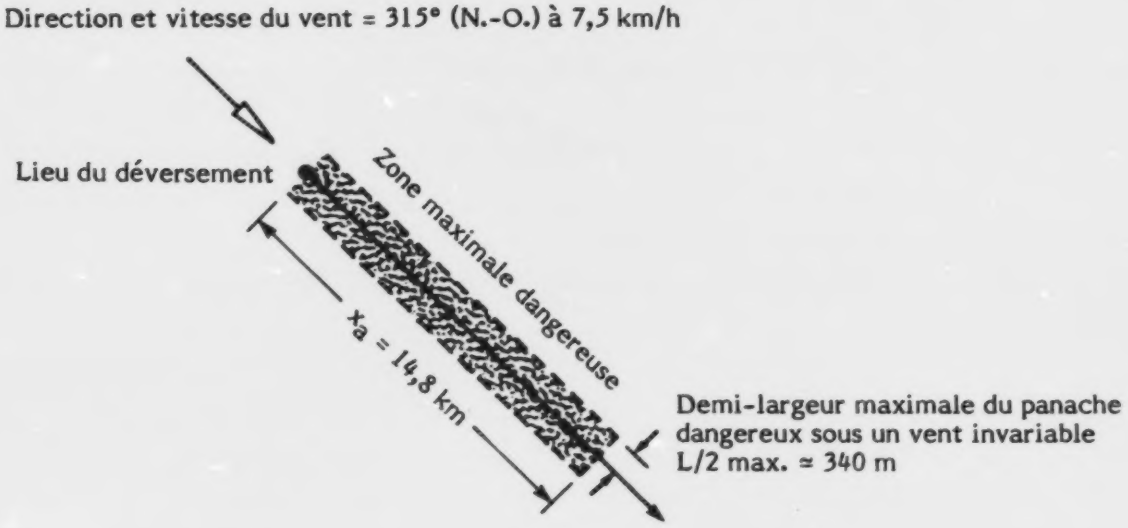
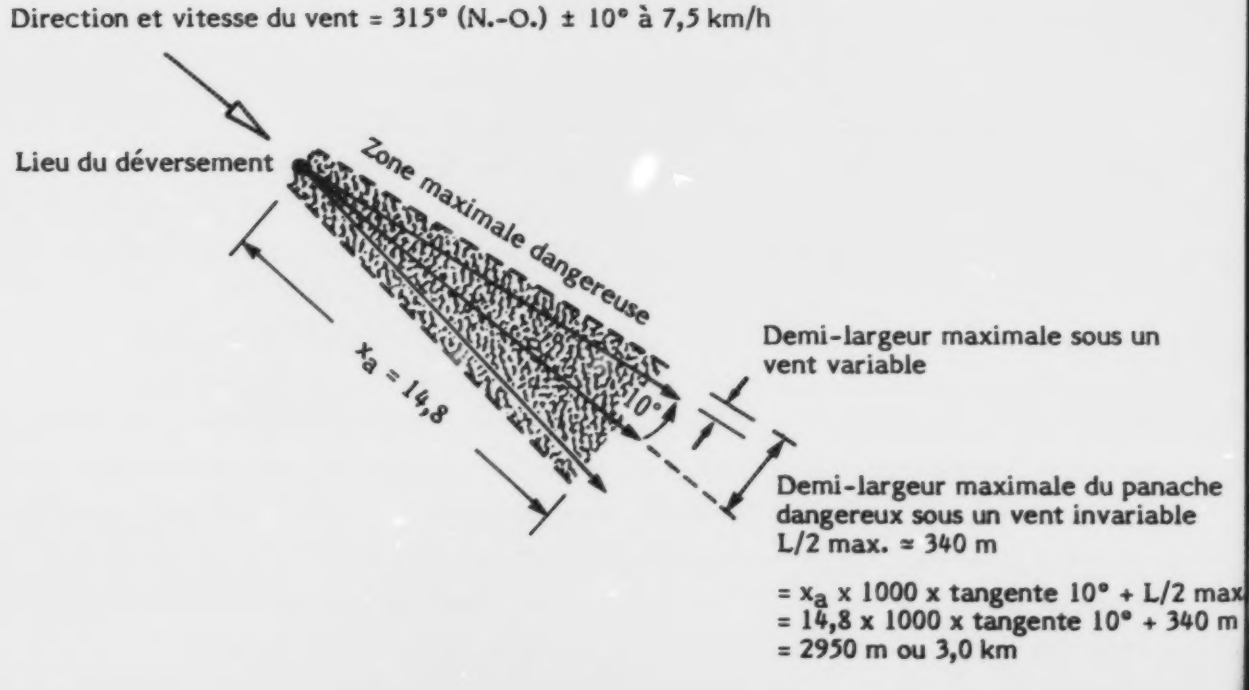


Figure 19

BUTYRALDÉHYDES — ZONE DANGEREUSE MAXIMALE SOUS UN VENT VARIABLE
EXEMPLE DE PROBLÈME



largeur/profondeur est inférieur à 100. Il postule également un coefficient de rugosité de Manning de 0,03. (Pour plus de détails au sujet de ce modèle, voir le *Manuel d'introduction Enviroguide.*)

En ce qui a trait à la diffusion moléculaire dans un plan d'eau, aucun modèle n'a été élaboré. Les auteurs ont établi des nomogrammes permettant de délimiter la zone dangereuse et de calculer la teneur moyenne dans cette zone en fonction de la masse de liquide déversé, indépendamment du temps écoulé.

5.4.2 Nomogrammes de la diffusion du polluant dans l'eau. - Le lecteur trouvera ci-dessous la liste des nomogrammes servant à déterminer les teneurs en polluant dans des cours d'eau non soumis aux marées et des lacs au repos et autres plans d'eau.

A. - Cours d'eau non soumis aux marées

Figure 21 Distance en fonction du temps (pour une plage de vitesses moyennes d'écoulement)

Figure 22 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal (pour une plage de profondeurs du canal (hauteurs d'eau))

Figure 23 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique (pour une plage de vitesses moyennes d'écoulement)

Figure 24 Alpha* en fonction du coefficient de diffusion turbulente (pour différentes valeurs de temps écoulé)

Figure 25 Delta* en fonction d'alpha (pour différentes masses de liquide déversé)

Figure 26 Teneur maximale en fonction de delta (pour des sections mouillées de différentes surfaces)

B. - Lacs au repos et autres plans d'eau

Figure 27 Volume d'eau en fonction du rayon hydraulique de la zone dangereuse (pour différentes profondeurs, c.-à-d. différentes hauteurs d'eau)

Figure 28 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau de la zone dangereuse (pour différentes masses de liquide déversé)

La figure 20 présente les étapes à suivre pour évaluer la teneur en polluant en un point situé en aval du lieu du déversement et indique les nomogrammes à utiliser; ces derniers sont expliqués dans les paragraphes qui suivent.

5.4.2.1 Diffusion dans les cours d'eau non soumis aux marées

Figure 21 Distance en fonction du temps. - Le graphique montre les relations entre la vitesse moyenne de l'écoulement, le temps écoulé et la distance parcourue. Pour une vitesse

---

* Alpha et delta ne sont que des facteurs de conversion: leur utilité est de faciliter le calcul des teneurs en aval du lieu du déversement.

Figure 20

BUTYRALDÉHYDES

ÉTAPES À SUIVRE POUR CALCULER LA TENEUR EN POLLUANT D'UN COURS D'EAU NON SOUMIS AUX MARÉES

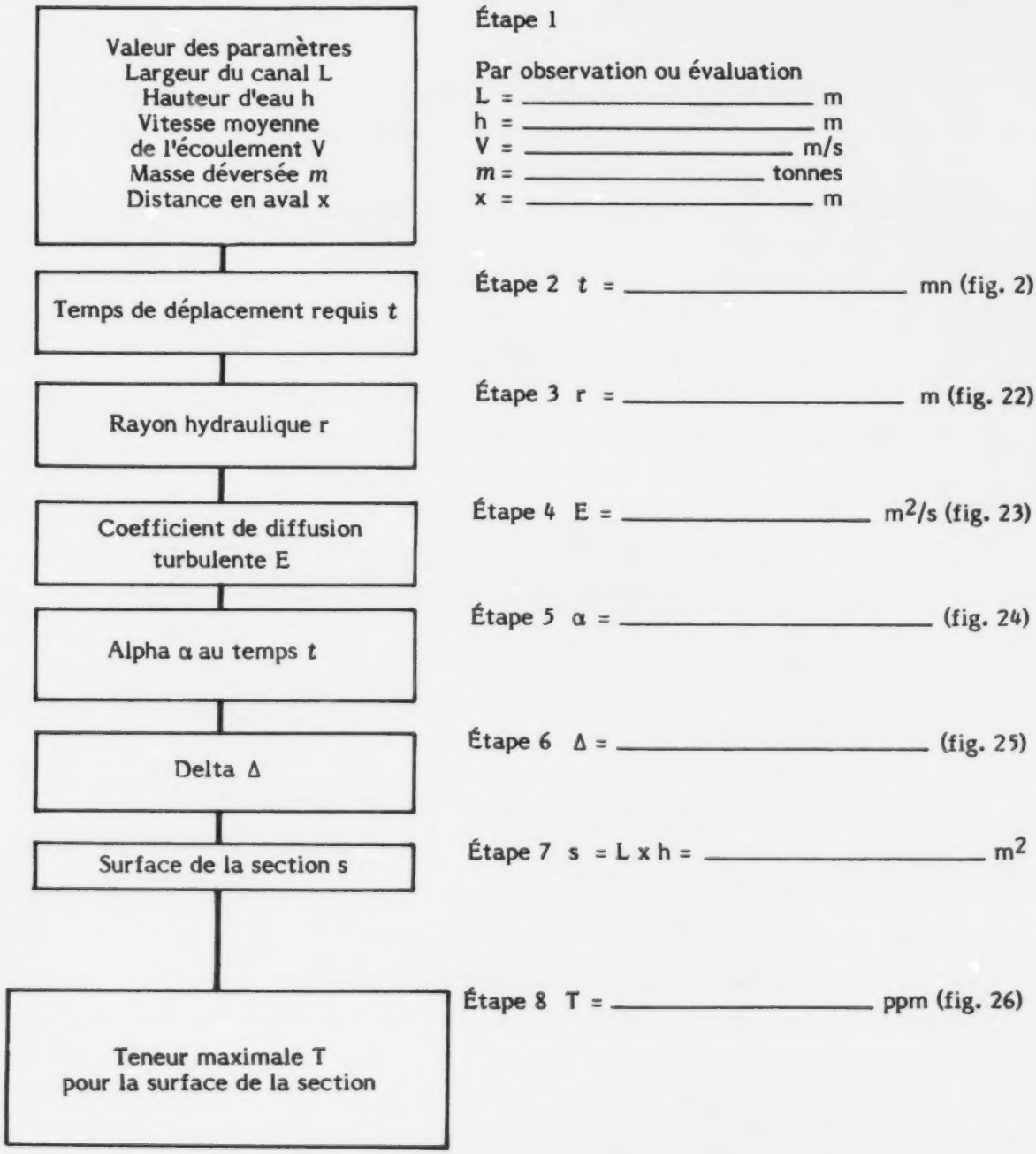
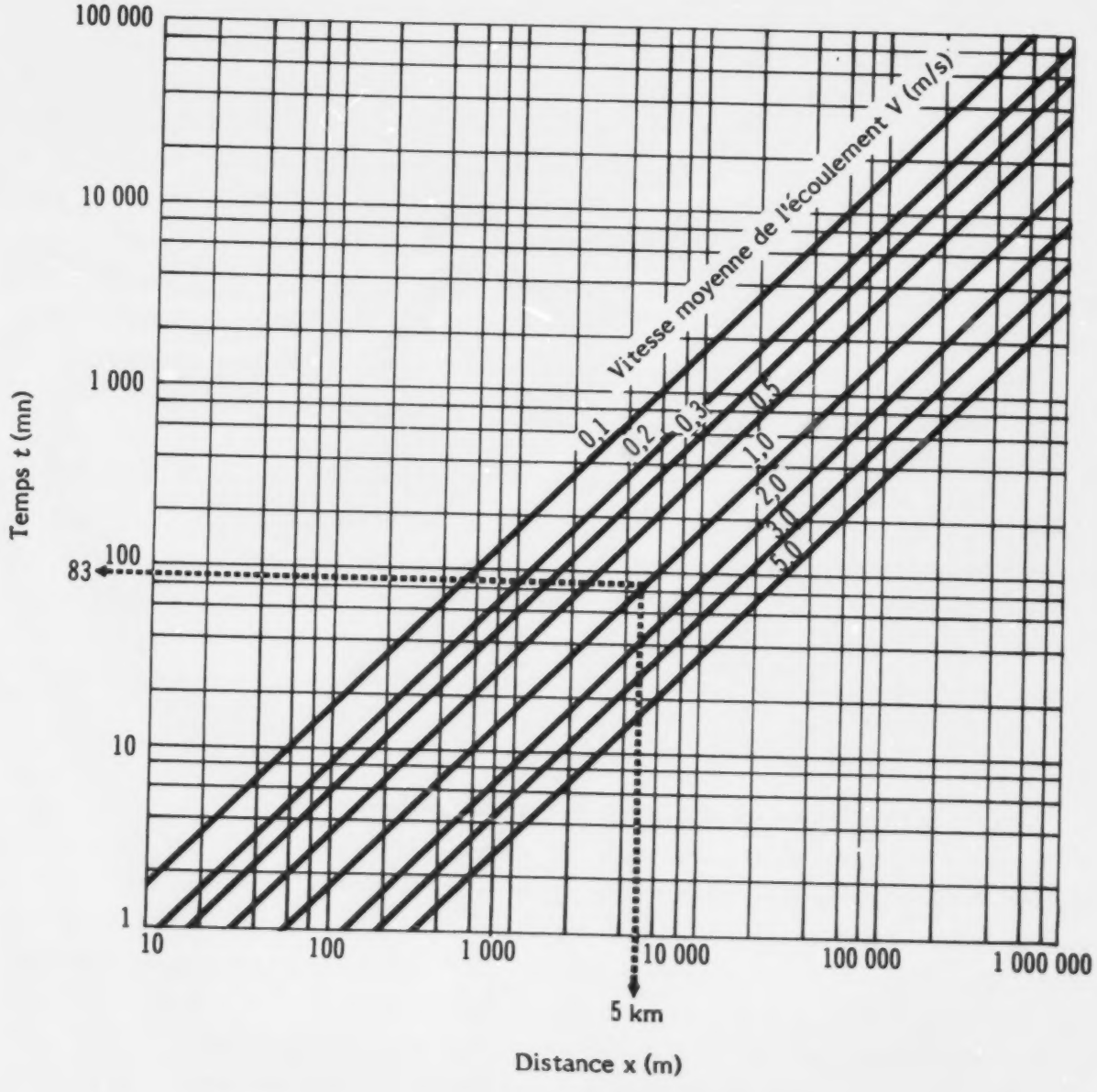


Figure 21

BUTYRALDÉHYDES

DISTANCE
EN FONCTION DU TEMPS



moyenne de l'écoulement V donnée, le temps *t* que met le polluant pour atteindre un point situé à une distance x donnée en aval du lieu du déversement peut être obtenu rapidement à l'aide de ce graphique.

Figure 22 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal. - Le modèle choisi pour évaluer la teneur en polluant en aval du lieu du déversement comporte un canal rectangulaire théorique de largeur L, ayant une hauteur d'eau h. Le rayon hydraulique r doit être connu pour calculer le coefficient de diffusion turbulente E. Le rayon hydraulique lui-même correspond au rapport de la surface de la section s mouillée (ou section de l'écoulement) au périmètre mouillé B. La figure 22 permet de déterminer le rayon hydraulique d'un canal à partir de la largeur de ce dernier et de la hauteur d'eau.

Figure 23 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique. - Les données connues sur le rayon hydraulique r et sur la vitesse moyenne de l'écoulement V permettent de déterminer le coefficient de diffusion turbulente E.

Figure 24 Alpha en fonction du coefficient de diffusion turbulente. - Le nomogramme permet d'obtenir le facteur de conversion α; ce dernier est fonction du coefficient de diffusion turbulente E et du temps *t* requis pour atteindre un point situé en aval du lieu du déversement.

Figure 25 Delta en fonction de alpha. - Un second facteur de conversion, delta Δ, est requis pour évaluer la teneur en polluant en un point donné. Delta est fonction d'alpha et de la masse de liquide déversé.

Figure 26 Teneur maximale en fonction de delta. - Il s'agit de la dernière étape dans la détermination de la teneur maximale en polluant en un point situé en aval du lieu du déversement. En se servant du facteur delta et connaissant la surface de la section mouillée s, le lecteur trouve rapidement la teneur. La valeur obtenue vaut pour les liquides miscibles à l'eau, de densité équivalente à celle de l'eau, et pour les solides hydrosolubles; elle variera quelque peu dans le cas de polluants dont la densité relative est supérieure ou inférieure à celle de l'eau.

5.4.2.2 Diffusion dans les lacs au repos et autres plans d'eau

Figure 27 Volume d'eau en fonction du rayon. - L'étendue d'eau calme (ni vent, ni courant) touchée par le déversement d'un liquide miscible à l'eau, de densité équivalente à celle de l'eau, est représentée par un cylindre théorique de rayon r et de longueur égale à la hauteur d'eau h à l'endroit où le déversement se produit. Le volume d'eau peut être obtenu à l'aide de la figure 28. Le rayon r équivaut à la distance x entre le lieu du déversement et le point où la teneur est mesurée.

Figure 28 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau. - Pour un volume d'eau connu du cylindre théorique, le nomogramme permet d'établir une teneur moyenne en polluant selon la

Figure 22

BUTYRALDÉHYDES

RAYON HYDRAULIQUE
EN FONCTION DE LA LARGEUR DU CANAL

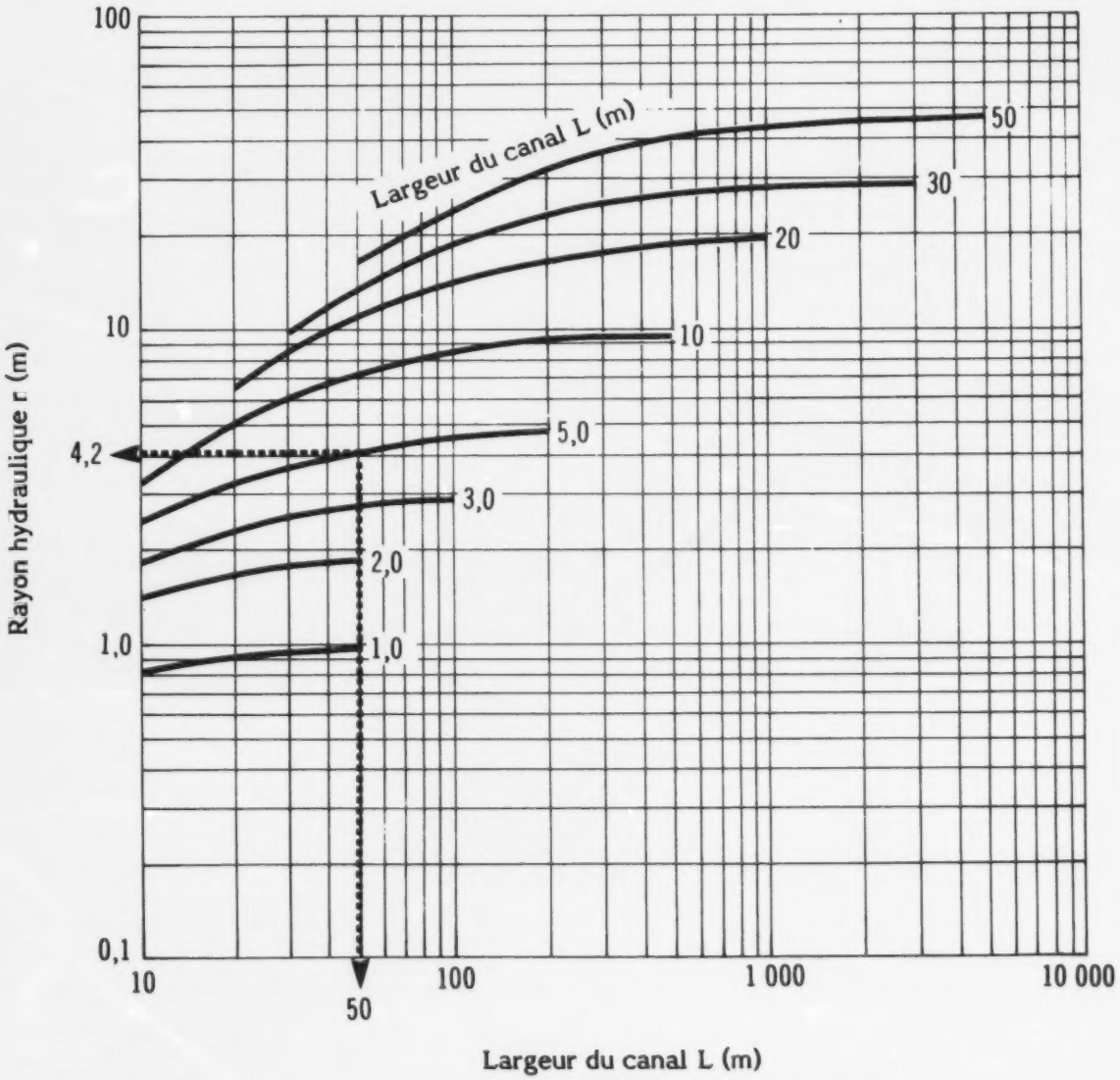


Figure 23

BUTYRALDÉHYDES

COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENTE EN FONCTION DU RAYON HYDRAULIQUE

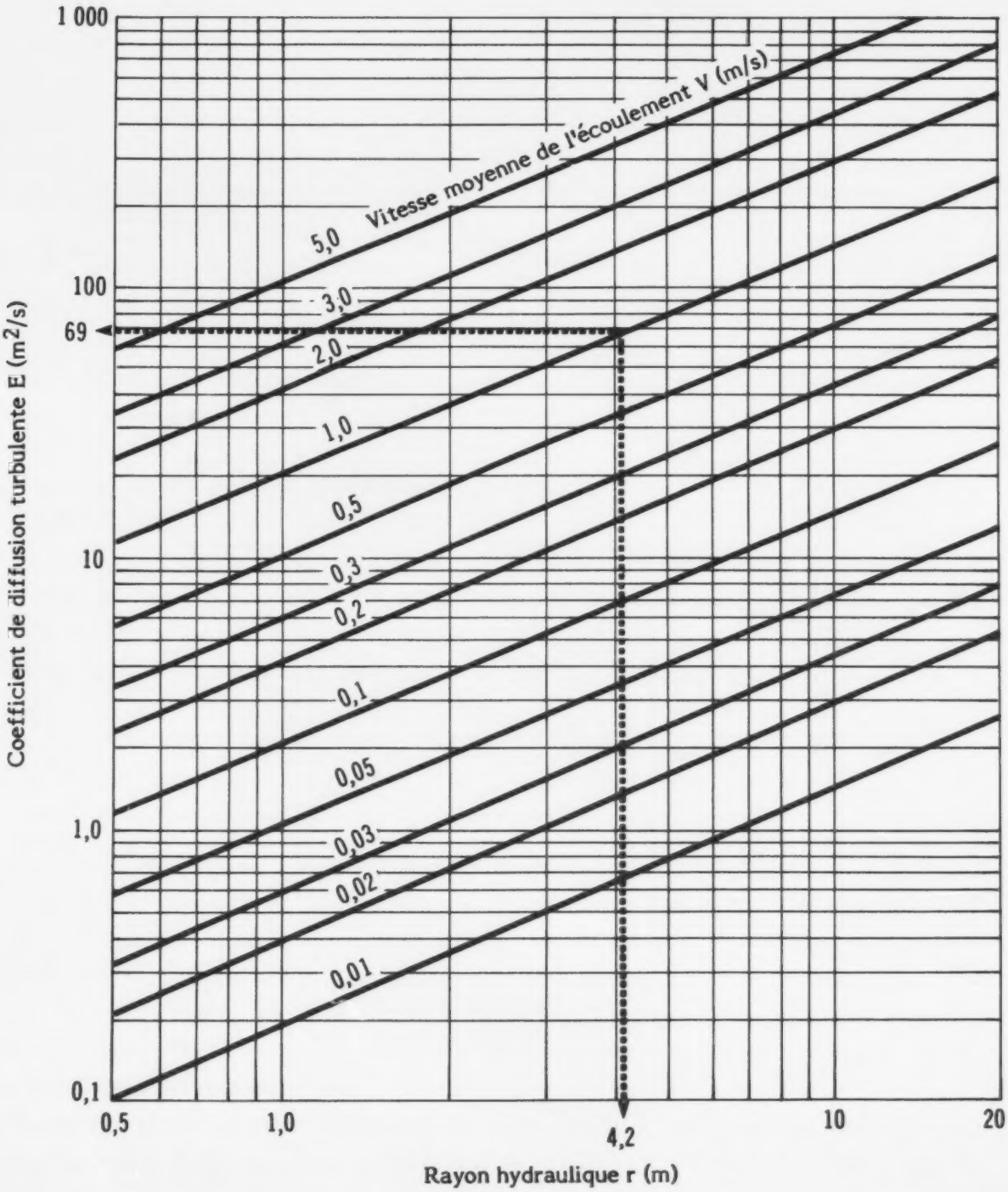


Figure 24

BUTYRALDÉHYDES

ALPHA
EN FONCTION DU COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENTE

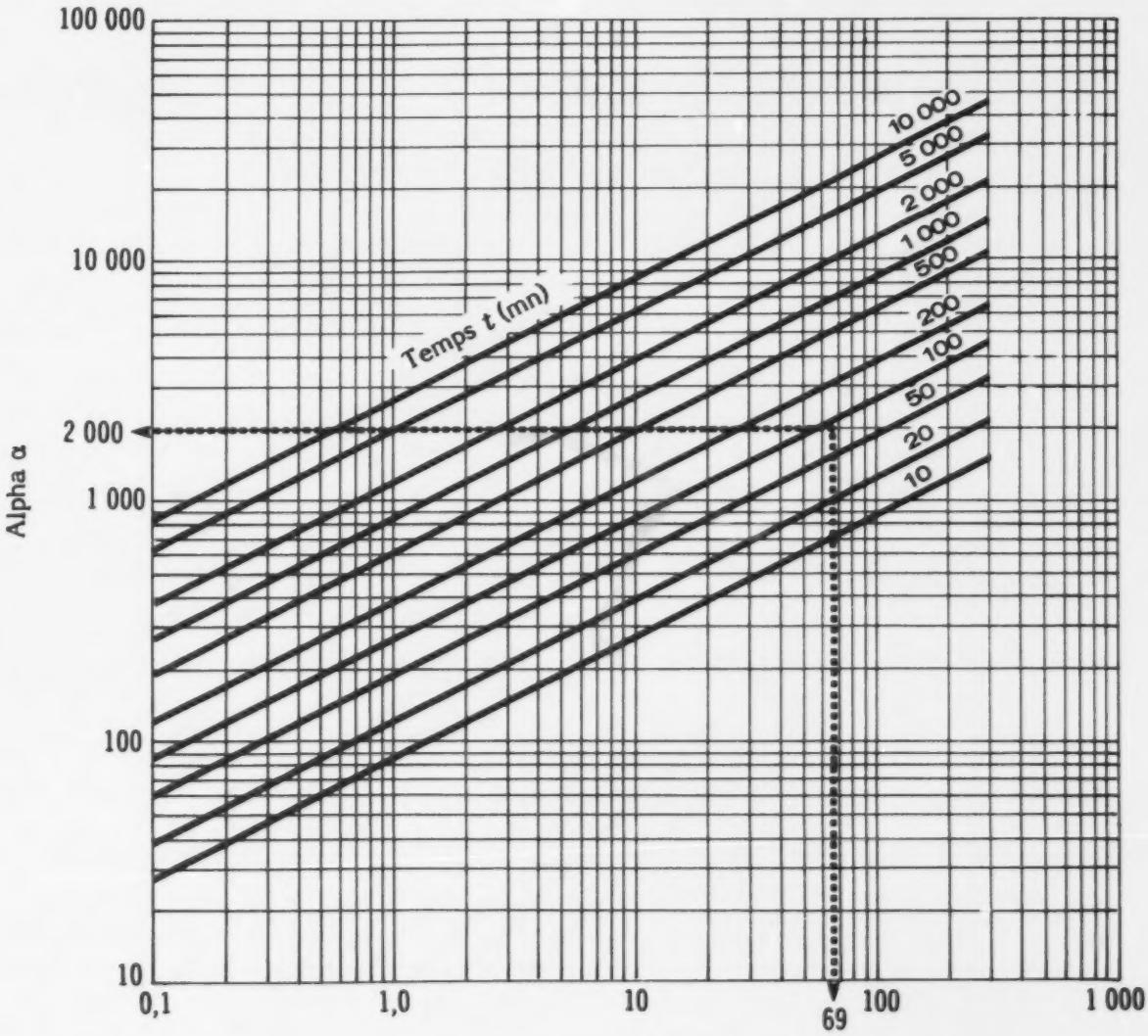


Figure 25

BUTYRALDÉHYDES

DELTA
EN FONCTION DE ALPHA

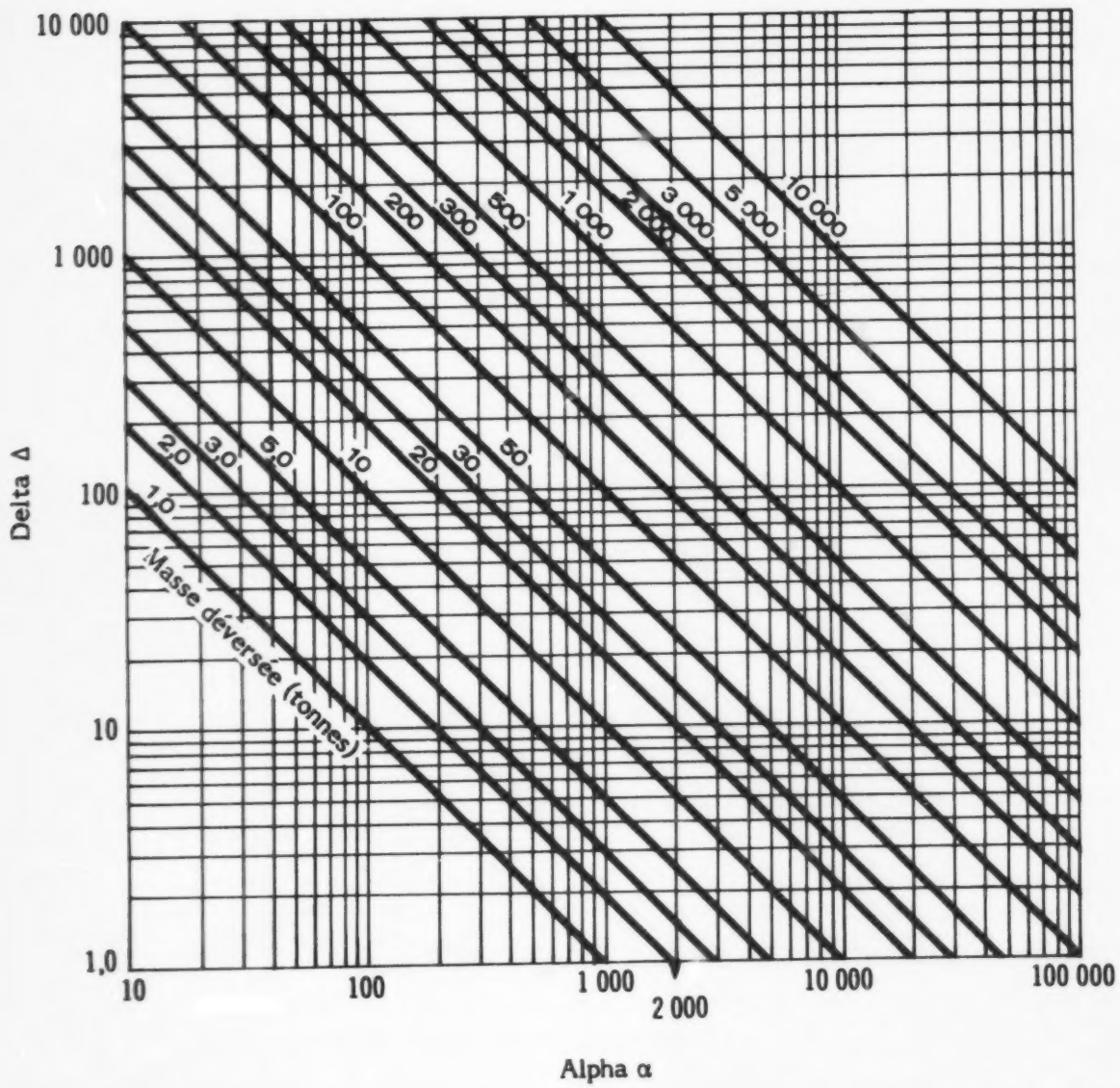


Figure 26

BUTYRALDÉHYDES

TENEUR MAXIMALE
EN FONCTION DE DELTA

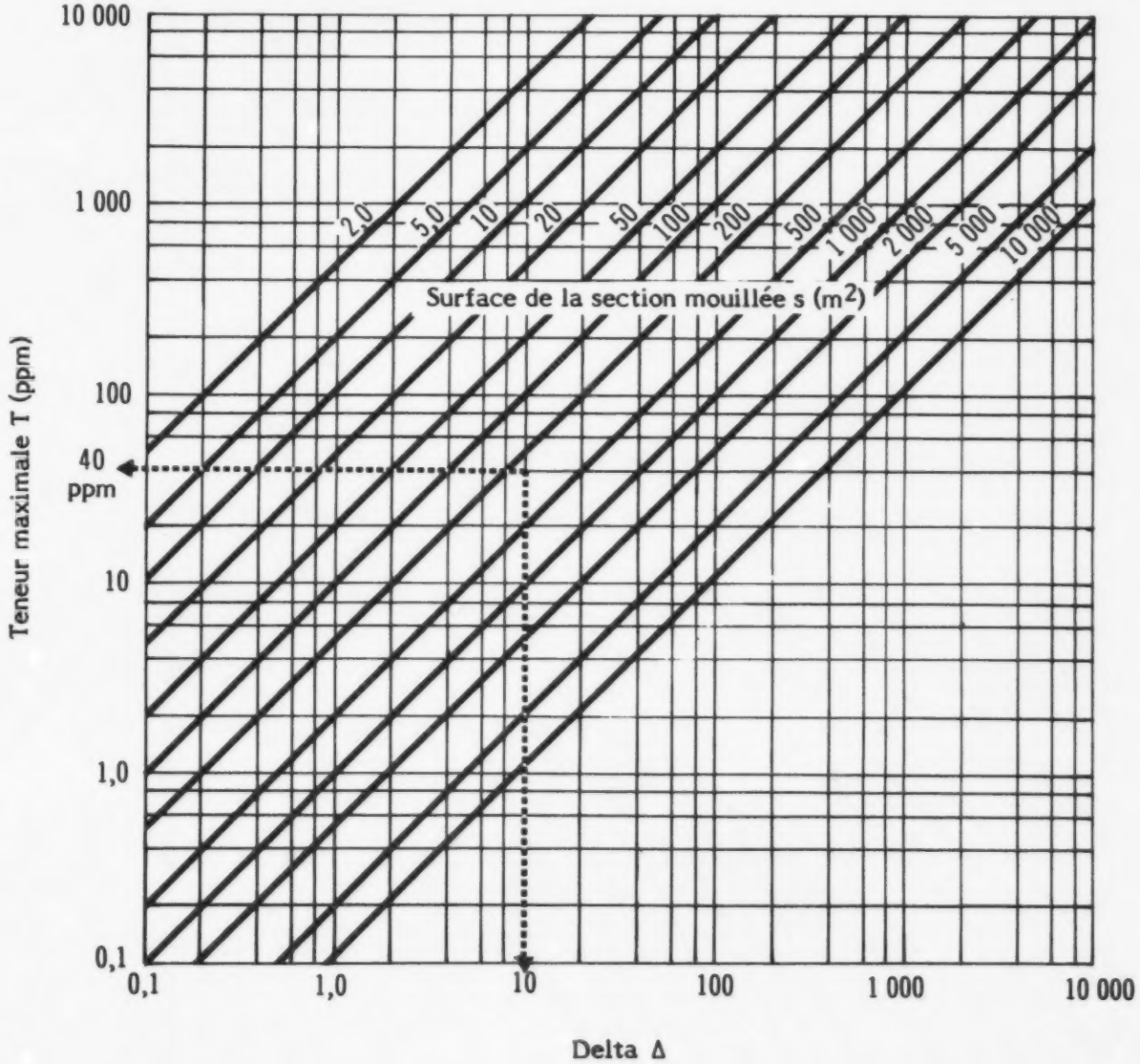


Figure 27

BUTYRALDÉHYDES

VOLUME D'EAU
EN FONCTION DU RAYON HYDRAULIQUE

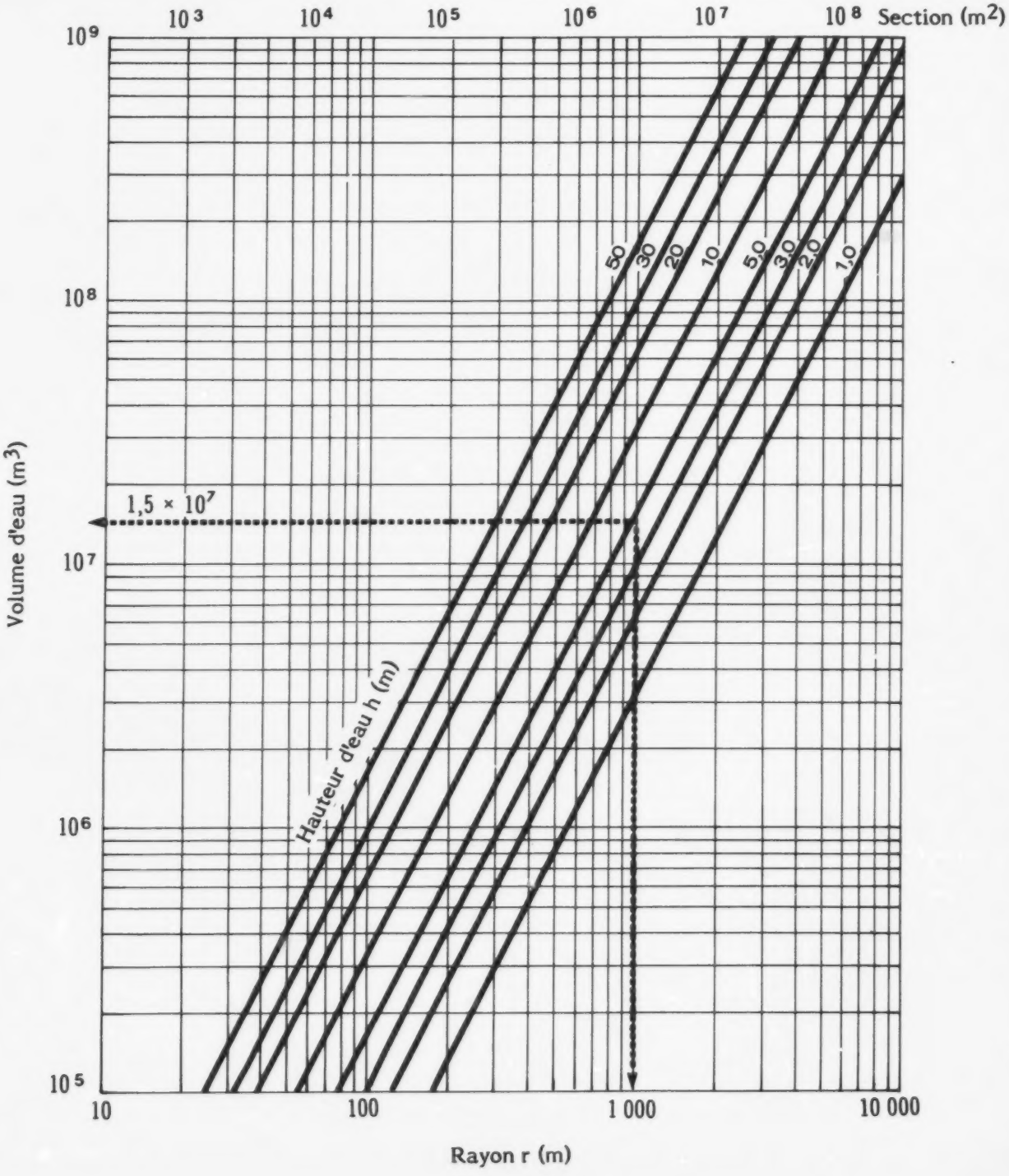
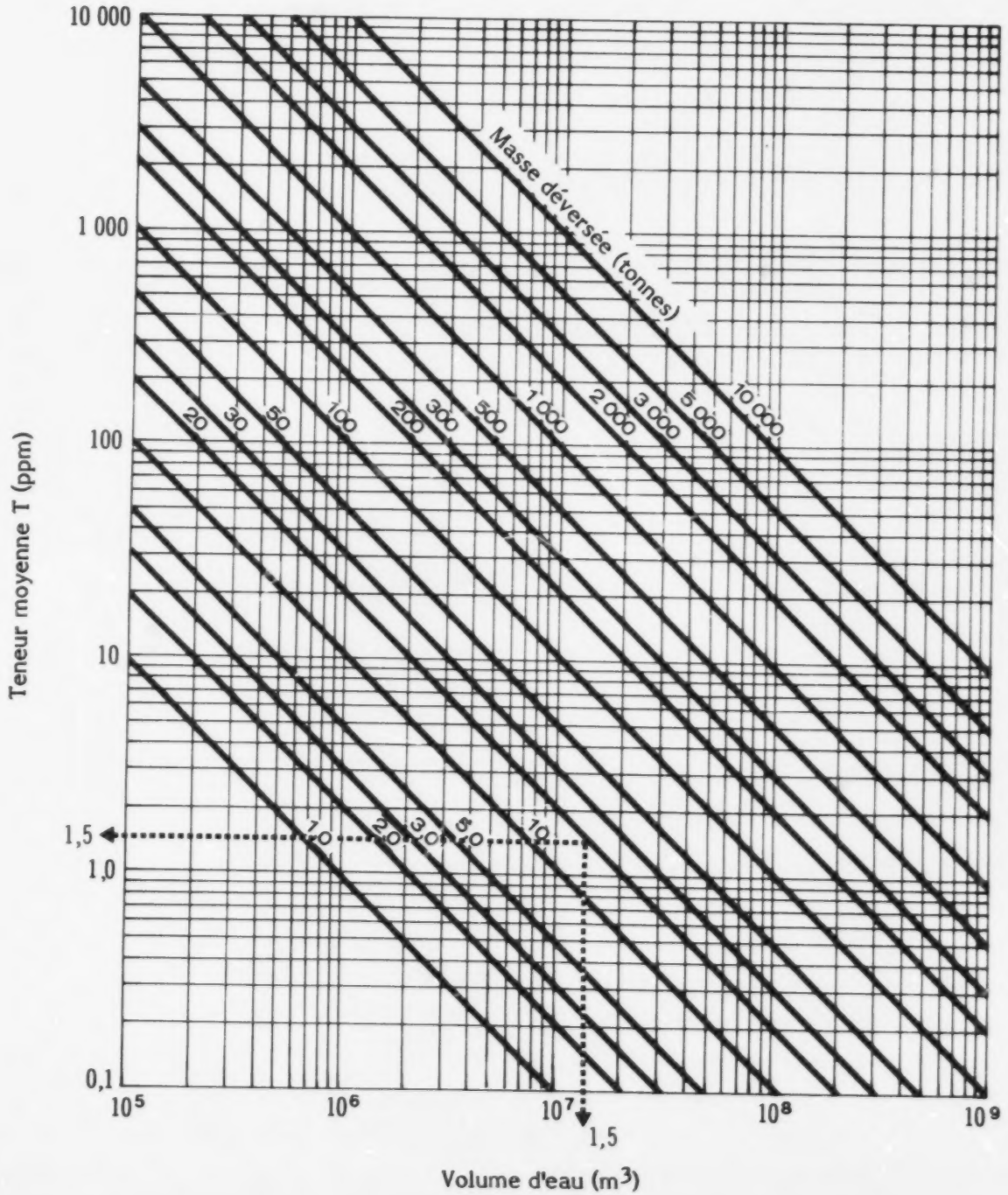


Figure 28

BUTYRALDÉHYDES

TENEUR MOYENNE
EN FONCTION DU VOLUME D'EAU



masse de liquide déversé. Il est pris pour acquis que la diffusion du polluant est uniforme dans le cylindre. En pratique, dans le cas des substances dont la densité relative est supérieure ou inférieure à celle de l'eau, la teneur réelle près du fond sera plus forte ou plus faible.

5.4.3 Exemples de calcul

5.4.3.1 Teneur en polluant d'un cours d'eau non soumis aux marées. - Vingt tonnes de butyraldéhyde ont été déversées dans un cours d'eau. La hauteur d'eau h est de 5 m et la largeur L, de 50 m. La vitesse moyenne de l'écoulement est évaluée à 1 m/s. Quelle est la teneur maximale prévisible en un point situé à 5 km en aval, près d'une prise d'eau?

Étape 1 Déterminer les paramètres.

L = 50 m; h = 5 m; V = 1 m/s.

m = 20 tonnes de butyraldéhyde.

Étape 2 Déterminer le temps requis pour atteindre le point donné.

Comme x = 5000 m et V = 1 m/s, *t* = 83 mn (fig. 21).

Étape 3 Déterminer le rayon hydraulique.

Comme L = 50 m et h = 5 m, r = 4,2 m (fig. 22).

Étape 4 Déterminer le coefficient de diffusion turbulente.

Comme r = 4,2 m et V = 1 m/s, E = 69 m^2/s (fig. 23).

Étape 5 Déterminer alpha.

Comme E = 69 m^2/s et *t* = 83 mn, α = 2000 (fig. 24).

Étape 6 Déterminer delta.

Comme α = 2000 et *m* = 20 tonnes, Δ = 10 (fig. 25).

Étape 7 Calculer la surface de la section mouillée.

s = L x h = 50 x 5 = 250 m^2.

Étape 8 Déterminer la teneur maximale au point donné.

Comme Δ = 10 et s = 250 m^2, T = 40 ppm (fig. 26).

5.4.3.2 Teneur moyenne en polluant dans les lacs au repos et autres plans d'eau. - Vingt tonnes de butyraldéhyde ont été déversées dans un lac. Le point qui nous intéresse se trouve le long de la rive, à environ 1000 m du lieu du déversement. Entre ce lieu et le point donné, la hauteur d'eau moyenne est de 5 m. Quelle est la teneur moyenne prévisible en ce point?

Étape 1 Déterminer les paramètres.

h = 5 m; r = 1000 m; *m* = 20 tonnes.

Étape 2 Déterminer le volume d'eau assurant la diffusion.

Comme r = 1000 m et h = 5 m, vol. = 1,5 x 10^7 m^3 environ (fig. 27).

Étape 3 Déterminer la teneur moyenne.

Comme vol. = 1,5 x 10^7 m^3 et *m* = 20 tonnes, T = 1,5 ppm (fig. 28).

5.5 Comportement dans le sol de surface et dans le sous-sol

5.5.1 Introduction. - Les butyraldéhydes étant peu miscibles à l'eau, leur pénétration et leur migration dans le sol, en cas de déversement, s'effectuent selon un processus complexe qui fait intervenir plusieurs phases: le butyraldéhyde liquide, l'eau, le sol, des gaz ou des vapeurs.

Malheureusement, il n'existe pas suffisamment de données permettant d'établir de façon détaillée la migration du polluant dans des circonstances bien précises. Quelques études approfondies ont été menées sur le terrain, en particulier dans le cas de déversements de pétrole, d'essence et de PCB, mais nous disposons de peu d'information sur les butyraldéhydes. Nous devons donc nous en remettre à un modèle simplifié des conditions du sol et des eaux souterraines et exprimer le comportement du polluant par analogie à d'autres corps ayant fait l'objet d'études plus approfondies.

Un modèle de migration dans le sol des fluides immiscibles tels les butyraldéhydes a déjà été préparé en comparant cette situation à celle d'hydrocarbures déversés sur le sol (Blokker, 1971; Freeze et Cherry, 1979). On suppose qu'au moment du déversement, le sol renferme une quantité d'eau correspondant au plus à sa capacité normale d'humidité, dite capacité au champ, et ce jusqu'à la nappe phréatique. Le sol recèle alors très peu d'eau interstitielle susceptible de freiner le mouvement descendant du butyraldéhyde. Il est supposé que celui-ci progresse sous forme de bloc saturé en laissant une fraction retenue constante S_0 dans les pores du sol traversé. Le mouvement descendant se poursuit jusqu'à ce que le volume de butyraldéhyde déversé par unité de surface B_0 soit égal à la quantité S_0 retenue dans le sol. La pression capillaire peut entraîner une certaine infiltration horizontale. Si B_0 est supérieur à S_0 (volume que le sol peut retenir), le surplus de butyraldéhyde se répandra comme une crêpe à l'intérieur de la frange capillaire de la nappe phréatique saturée. Il y a donc formation d'une colonne polluée ayant une base étalée, comme on peut le voir à la figure 29.

5.5.2 Migration du polluant dans un sol à capacité au champ. - Les équations et les postulats utilisés pour déterminer la migration du fluide dans la zone non saturée (à capacité au champ), jusqu'à la nappe phréatique, sont présentés dans le *Manuel d'introduction Enviro-guide*. Les vitesses de migration font intervenir la loi de Darcy, alors que l'on pose comme hypothèse la formation d'une colonne saturée en solution polluée, par suite d'un écoulement en bloc (ou écoulement piston).

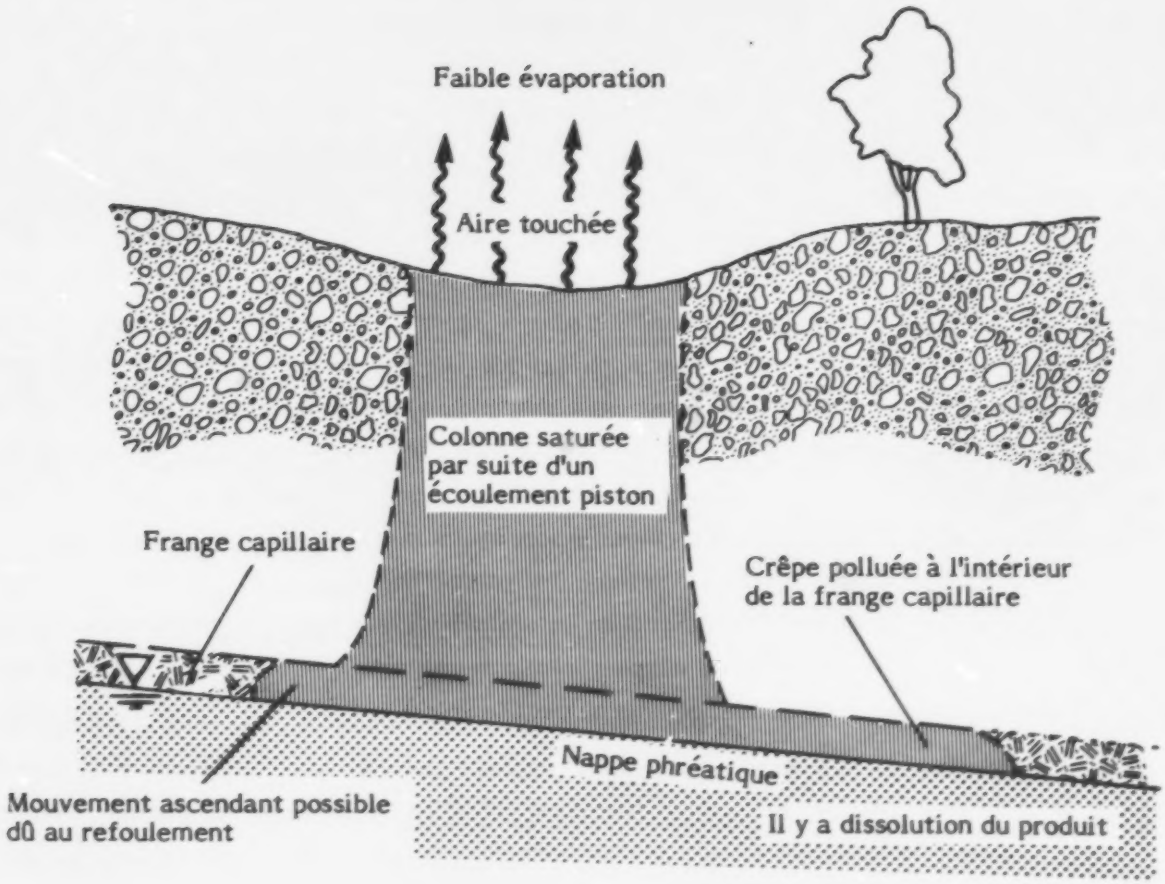
5.5.3 Coefficient de perméabilité d'un sol saturé vis-à-vis du polluant. - Le coefficient de perméabilité K_0 (ou conductivité hydraulique) mesure la perméabilité d'un sol saturé donné vis-à-vis d'un fluide donné. K_0, qui s'exprime en m/s, est donné par la formule suivante:

$$K_0 = \frac{(\rho g)k}{\mu}$$

où: k = perméabilité intrinsèque du sol (m^2)

Figure 29

BUTYRALDÉHYDES — MIGRATION DANS LE SOUS-SOL



Sol: sable grossier
- porosité (n) = 0,35
- perméabilité intrinsèque $k = 10^{-9}$ m^2
- capacité au champ = 0,075

ρ = masse volumique du fluide (kg/m^3)

μ = viscosité absolue du fluide (Pa . s)

g = accélération de la pesanteur = 9,81 m/s^2

Les valeurs établies pour le butyraldéhyde (pour une moyenne des isomères *n*- et iso) sont données ci-dessous.

Propriétés	Butyraldéhyde	
	à 4 °C	à 20 °C
Masse volumique (ρ), en kg/m^3	822	798
Viscosité absolue (μ), en Pa . s	$0,50 \times 10^{-3}$	$0,43 \times 10^{-3}$
Coefficient de perméabilité (K_0), en m/s	$(1,61 \times 10^7)k$	$(1,82 \times 10^7)k$

5.5.4 Types de sol. - Le *Manuel d'introduction Enviroguide* décrit les trois types de sol retenus pour les besoins de la présente section. Le tableau ci-dessous présente les valeurs établies pour les paramètres qui influent sur la migration des fluides.

Valeurs établies pour les sols

Paramètre	Sable grossier	Sable limoneux	Till argileux
Porosité (m^3/m^3)	0,35	0,45	0,55
Perméabilité intrinsèque (m^2)	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}
Capacité au champ (m^3/m^3)	0,075	0,3	0,45
Fraction résiduelle (m^3/m^3)	0,05	0,1	0,2

5.5.5 Nomogrammes de la migration. - Un nomogramme de la migration du butyraldéhyde dans la couche de sol non saturée (c.-à-d. à capacité au champ) située au-dessus de la nappe phréatique a été préparé pour chaque type de sol mentionné. Chaque nomogramme montre la hauteur totale de migration h_m en fonction du temps de migration pour différents volumes déversés par unité de surface de sol (B_0), et pour deux températures (4 °C et 20 °C). Les calculs sont basés sur les équations établies dans le *Manuel d'introduction Enviroguide*.

Le lecteur trouvera à la figure 30 le plan d'utilisation des nomogrammes présentés aux figures 31, 32 et 33.

5.5.6 Exemple de calcul. - Vingt tonnes de butyraldéhyde se sont répandues sur un sol de sable grossier. La température est de 20 °C. La nappe a un rayon de 8,6 m. Calculer la hauteur de migration atteinte par le fluide, 5 mn après le début du déversement.

Étape 1 Déterminer la valeur des paramètres.

Masse de liquide déversée = 20 000 kg (20 tonnes)

Température = 20 °C

Masse volumique $\rho = 798\ kg/m^3$

Rayon r = 8,6 m

Temps écoulé depuis le début du déversement: 5 mn

Étape 2 Calculer le volume V de liquide déversé et la superficie de la nappe A.

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{2 \times 10^4\ kg}{798\ kg/m^3} = 25,1\ m^3$$

$$A = \pi r^2 = 232\ m^2$$

Étape 3 Calculer la charge volumétrique B_0.

$$B_0 = \frac{V}{A} = \frac{12}{232} = 0,05\ m^3/m^2$$

Étape 4 Évaluer la hauteur de migration B.

B (sable grossier) = 5,7 m (fig. 31)

BUTYRALDÉHYDES

Figure 30

PLAN D'UTILISATION DES NOMOGRAMMES

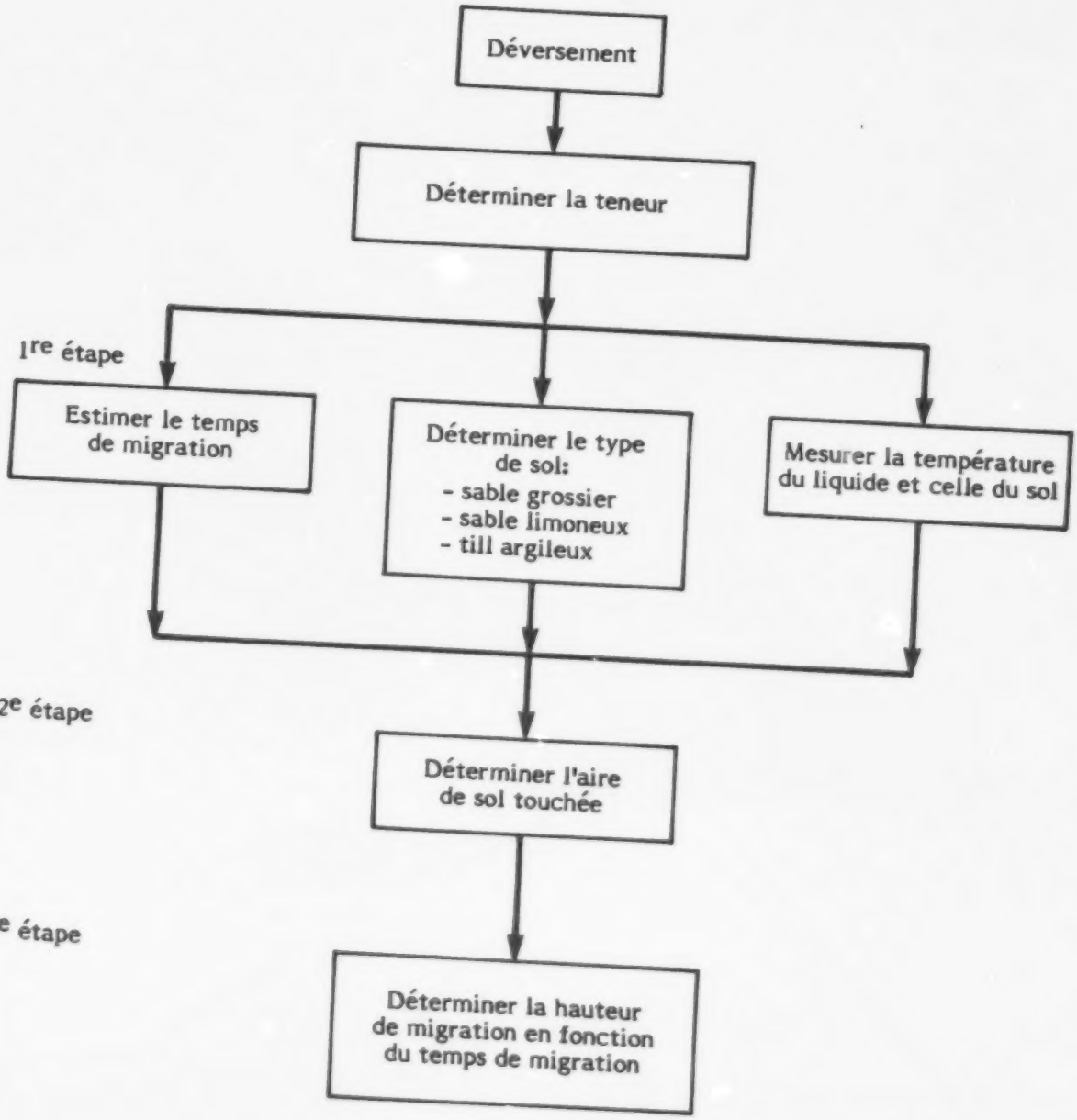


Figure 31

BUTYRALDÉHYDES — MIGRATION DANS UN SOL GROSSIER

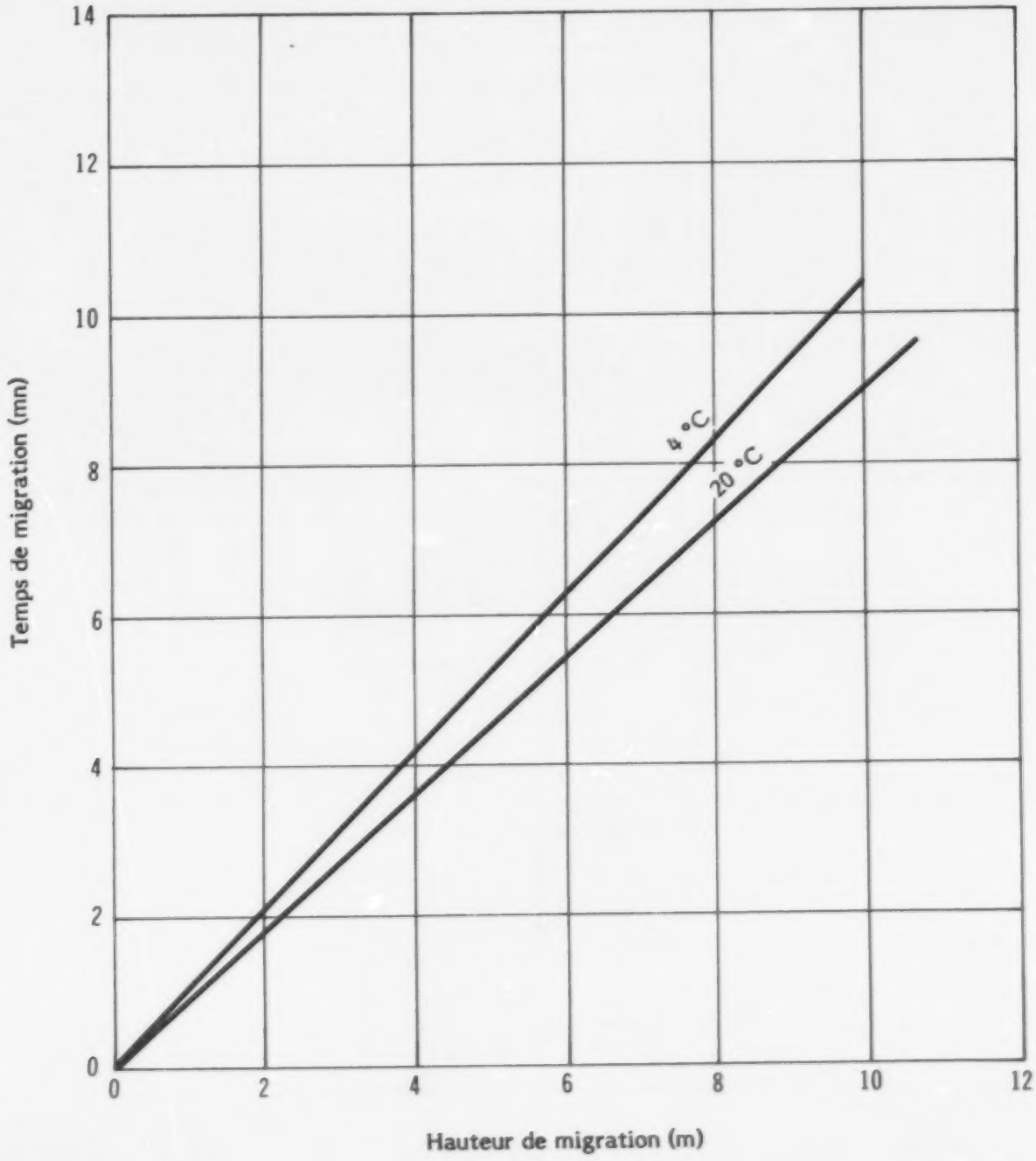


Figure 32

BUTYRALDÉHYDES — MIGRATION DANS UN SOL LIMONEUX

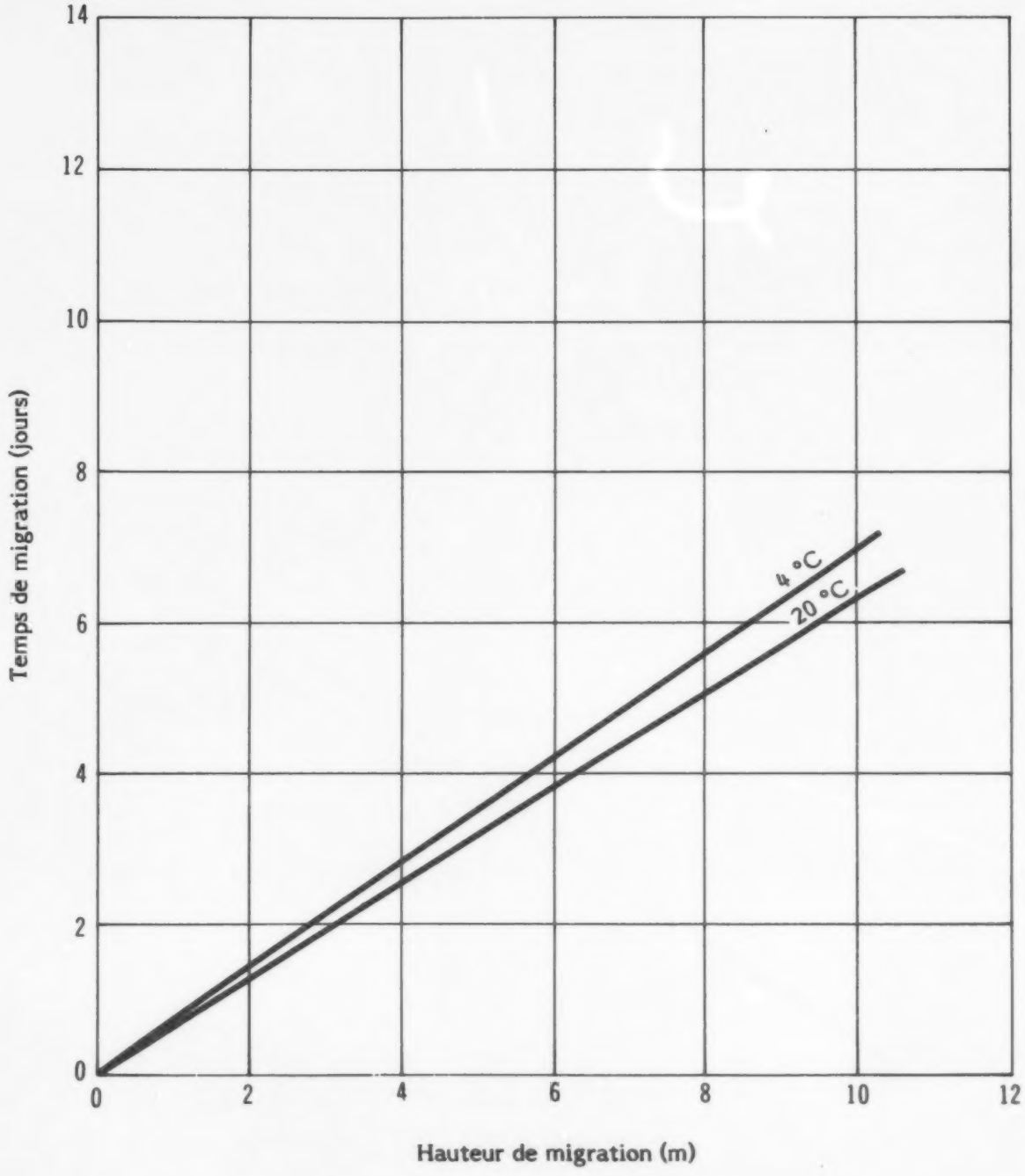
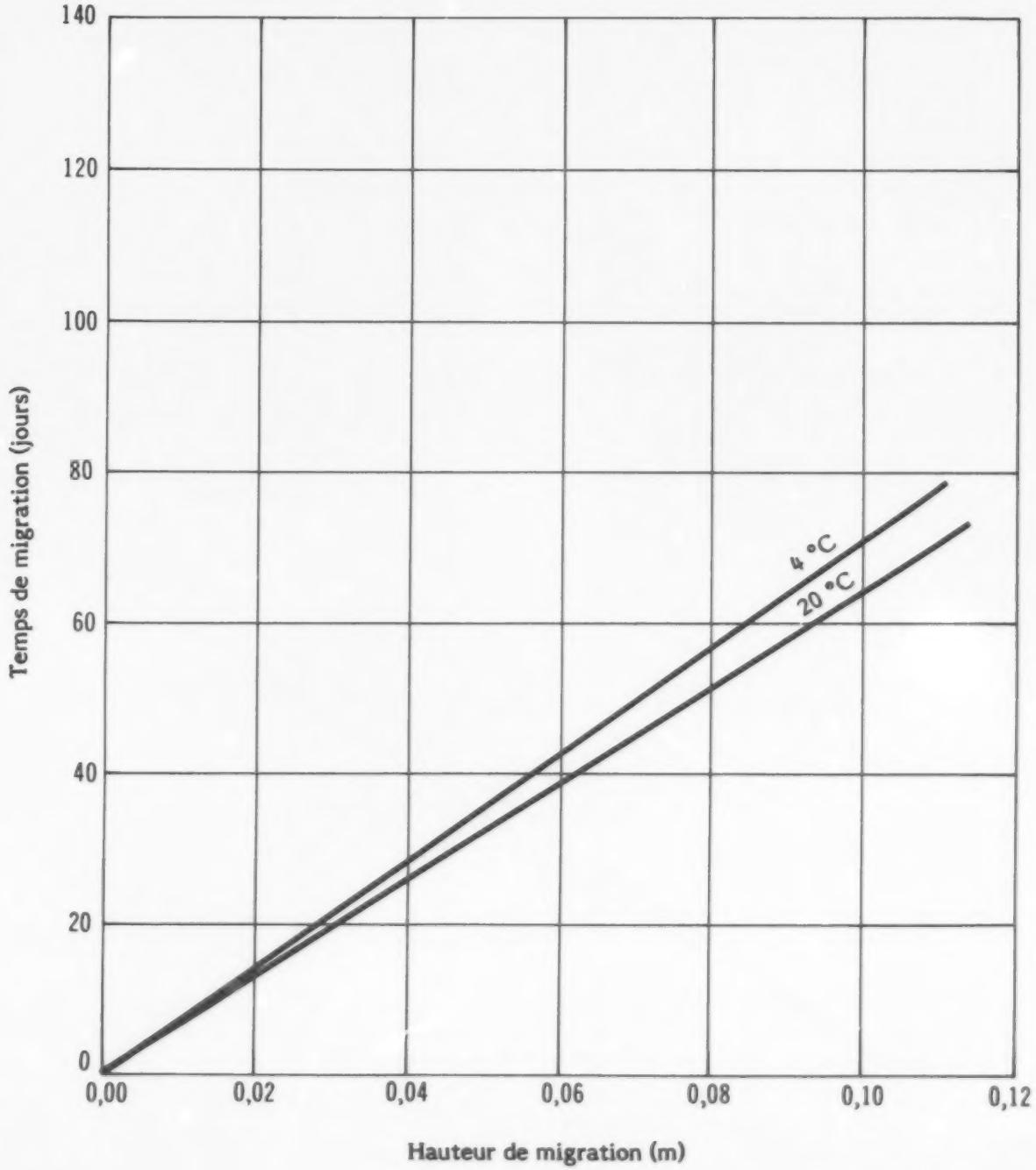


Figure 33

BUTYRALDÉHYDES — MIGRATION DANS UN TILL ARGILEUX



6 PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

6.1 Limites maximales admissibles

6.1.1 Qualité de l'eau. - La teneur maximale admissible recommandée pour les butyraldéhydes est de 0,01 mg/l pour l'eau potable (Verschueren, 1984).

6.1.2 Qualité d'air ambiant. - Aucune norme de qualité d'air ambiant n'a été établie pour les butyraldéhydes.

6.2 Toxicité pour les espèces aquatiques

6.2.1 Évaluation de la toxicité (États-Unis). - La tolérance moyenne pour 96 heures (TLm 96) au *n*-butyraldéhyde se situe entre 1 et 10 ppm, alors que pour l'iso-butyraldéhyde, elle se situe entre 100 et 1000 ppm (RTECS, 1979).

6.2.2 Mesures de la toxicité

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Effet(s)	Conditions	Source
		A. Toxicité pour les poissons			
25,8	96	Tête-de-boule (*Pimephales promelas*)	TL 50	Essai statique, 22 °C, dureté de l'eau: 40-48	JWPCF, 1982
1	Non précisée	Saumon chinook	Toxique	-	NRC, 1981
1	Non précisée	Cyprinoïde d'Orégon	Aucun effet	-	NRC, 1981
1	Non précisée	Truite arc-en-ciel	Aucun effet	-	NRC, 1981
1	Non précisée	Saumon Coho	Aucun effet	-	NRC, 1981
5	24	Truite arc-en-ciel	Aucun effet	-	NRC, 1981
5	24	Crapet arlequin	Aucun effet	-	NRC, 1981
		B. Toxicité pour les micro-organismes			
100	-	Bactéries (*Pseudomonas putida*)	Inhibition de la division cellulaire	-	Verschueren, 1984
19	-	Algues (*Microcystis aeruginosa*)	Inhibition de la division cellulaire	-	*Ibidem*

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Effet(s)	Conditions	Source
83	-	Chlorophycée (*Scenedesmus quadricauda*)	Inhibition de la division cellulaire	-	*Ibidem*
4,2	-	Protozoaire (*Entosiphon sulcatum*)	Inhibition de la division cellulaire	-	*Ibidem*
98	-	Protozoaire (*Uronema parduczi*)	Inhibition de la division cellulaire	-	*Ibidem*
2500	-	Algues (*Chlorella pyranoïdosa*)	Seuil de toxicité	-	Jones, 1971

6.3 Toxicité pour les rongeurs

La DL 50 en cas d'inhalation de butyraldéhydes (sous forme d'aérosol) est de 4,8 mg/m^3 pour la souris (Salem, 1960). Le niveau sans effet pour les rats est de 1000 ppm (12 expositions de 6 heures) (Verschueren, 1984).

6.4 Toxicité dans l'air et sur terre

Du butyraldéhyde irradié a été appliqué à des plants de haricots pinto de 8 jours et des pétunias à raison de 8,5 à 17,7 ppm. Tous les plants traités ont subi de graves dommages (NRC, 1971).

6.5 Dégradation du polluant

Demande biochimique en oxygène pour le *n*-butyraldéhyde

DBO oxygène/ *n*-butyral-déhyde (masse/masse)	% de la DBO théorique	Durée (jours)	Ensemen-cement	Méthode	Source
1,06 à 1,6	28 à 43	5	Eaux d'égout diluées	-	Verschueren, 1984
-	59,8	10			*Ibidem*
-	66,4	10			*Ibidem*
-	68,9	50			*Ibidem*

DBO oxygène/ *n*-butyral-déhyde (masse/masse)	% de la DBO théorique	Durée (jours)	Ensemencement	Méthode	Source
< 1	35	0,95	Boues activées adaptées au butanol	Station d'épuration	Ryerman, 1966
< 1	38	5	Culture bactérienne pure		*Ibidem*
< 1	22,8	1	Boues activées		Gerhold, 1966
1,62	-	5	Eaux d'égout		Henkelekian, 1955

Le *n*-butyraldéhyde se dégrade moyennement. La substance exposée s'oxydera pour former de l'acide butyrique (OHM-TADS, 1981). La demande théorique en oxygène (DTO) est de 2,44 kg/kg et la COD (demande chimique en oxygène) correspond à 99 p. 100 de la DTO (Verschueren, 1984).

6.6 Devenir et effets à long terme

Des essais restreints indiquent que les butyraldéhydes ne se concentrent pas dans les organismes aquatiques (NRC, 1981). Dans l'air, les butyraldéhydes se fractionnent finalement en hydrocarbures et en gaz élémentaires. Le *n*-butyraldéhyde se transforme selon les réactions suivantes:

$$C_2H_5CHO \xrightarrow{\text{lumière solaire}} C_2H_5 + HCO \quad (\text{taux de } 2\text{-}4 \times 10^{5}\ s^{-1})$$

et

$$\xrightarrow{\text{lumière solaire}} C_2H_6 + CO \quad (\text{taux de } 1 \times 10^{-6}\ s^{-1})$$

Ces réactions ainsi que l'interaction avec les autres espèces semblent indiquer que la demi-vie du butyraldéhyde dans l'air serait inférieure à un mois (NRC, 1981).

7 PROTECTION DE LA SANTÉ

La documentation publiée donne peu de renseignements sur la toxicité des butyraldéhydes; elle ne mentionne pas d'effets toxiques généraux chez des travailleurs exposés. Par contre, l'expérimentation animale indique que des doses élevées peuvent provoquer une dépression du système nerveux central et l'anesthésie. En cas de contact avec la peau et les yeux, on observe de l'irritation, des lésions et parfois des brûlures. Les butyraldéhydes sont moyennement toxiques s'ils pénètrent dans l'organisme par la voie cutanée mais dans l'ensemble, on les considère peu toxiques. Aucune TLV® n'a été établie pour les butyraldéhydes.

Les butyraldéhydes ont été choisis par le NCI pour être soumis à des essais biologiques portant sur le pouvoir cancérogène. Ils figurent au répertoire des substances toxiques (TSCA) publié par l'EPA. Les données toxicologiques présentées ci-après sont extraites de sources dignes de confiance et sont représentatives de l'information publiée. Lorsqu'on l'a jugé nécessaire, l'interprétation des données relatives à l'homme a été étayée par des données sur l'exposition de courte durée recueillies pour d'autres espèces mammifères.

7.1 Normes de qualité d'air ambiant

Aucune norme ou limite d'exposition n'ont été trouvées dans la documentation consultée. Le *Registry of Toxic Effects of Chemical Substances* est la seule publication à mentionner une teneur seuil soit TT min. = 580 mg/m^3 pour le *n*-butyraldéhyde (RTECS, 1979).

7.2 Données sur l'action irritante

7.2.1 Contact avec la peau

Exposition	Effet	Source
• CHEZ L'HOMME		
Non précisée	Irritation d'intensité moyenne	NRC, 1981
• CHEZ LE LAPIN		
n-butyraldéhyde 500 mg (24 h)	Forte irritation	RTECS, 1979
n-butyraldéhyde 410 mg	En cas de plaie à vif, légère irritation	RTECS, 1979

7.2.2 Contact avec les yeux

Exposition	Effet	Source
• CHEZ L'HOMME		
Non précisée	Irritation et brûlures	CHRIS, 1978; NRC, 1981
• CHEZ LE LAPIN		
n-butyraldéhyde 20 mg (24 h)	Forte irritation	RTECS, 1979

7.3 Données sur les propriétés organoleptiques

7.3.1 Odeur

Iso-butyraldéhyde: odeur âcre (CHRIS, 1978).

n-butyraldéhyde: aldéhyde âcre; odeur âcre prenant à la gorge (CHRIS, 1978). Odeur écoeurante et rance, désagréable (Verschueren, 1984)

Valeur du seuil de perception: *n*-butyraldéhyde, 2984615 (Verschueren, 1984); iso-butyraldéhyde, 948 000 (Verschueren, 1984).

Paramètre	Teneur		Source
	n-butyral-déhyde	iso-butyral-déhyde	
Seuil de perception	4 à 25 ppb*	25 à 300 ppb	Verschueren, 1984
Seuil d'identification par 100 p. 100	39 ppb	300 ppb	Verschueren, 1984
Seuil d'identification par 50 p. 100	9,2 ppb	141 ppb	Verschueren, 1984
Limite absolue de détection	4,6 ppb	47 ppb	Verschueren, 1984

ppb = parties par milliard.

7.3.2 Saveur. - La documentation consultée ne contient aucune donnée.

7.4 Études sur les effets toxiques

7.4.1 Inhalation

Exposition	Effet	Source
	Exposition de courte durée	
• CHEZ L'HOMME		
(*n*-butyraldéhyde) 580 mg/m^3	TT min. (irritation)	RTECS, 1979
230 ppm (10 mn)	Aucune irritation	NRC, 1981
• CHEZ LE RAT		
59 160 ppm (30 mn)	TL 50	NRC, 1981
8000 ppm (4 h)	TL 50	NRC, 1981
• CHEZ LA SOURIS		
4,8 mg/m^3 (*n*-butyraldéhyde)	DL 50	OHM-TADS, 1981
	Exposition de longue durée	
• CHEZ LE RAT		
(*n*-butyraldéhyde) 1000 ppm (6 h/j, 12 j)	Pas d'effets sérieux	NRC, 1981
(iso-butyraldéhyde) 1000 ppm (6 h/j, 12 j)	Légère irritation des muqueuses nasales	NRC, 1981

7.4.2 Ingestion

Exposition	Effet	Source
	Exposition de courte donnée	
• CHEZ L'HOMME		
(*n*-butyraldéhyde) Teneur non précisée	Aucun cas n'est signalé. Étant donné les propriétés irritantes du produit, on peut prévoir en pareil cas de graves lésions des muqueuses.	AAR, 1981
• CHEZ LE RAT		
(*n*-butyraldéhyde) 5890 mg/kg	DL 50	NRC, 1981
(*n*-butyraldéhyde) 2490 mg/kg	DL 50	RTECS, 1979
(iso-butyraldéhyde) 2810-3730 mg/kg	DL 50	NRC, 1981

7.4.3 Administration par voie sous-cutanée

Exposition	Effet	Source
• CHEZ LE RAT (*n*-butyraldéhyde) 10 g/kg	DL min.	RTECS, 1979
• CHEZ LA SOURIS (*n*-butyraldéhyde) 2700 mg/kg	DL min.	RTECS, 1979

7.4.4 Mutagénicité

Exposition	Effet	Source
• BACTÉRIES (*Pseudomonas putida*) (*n*-butyraldéhyde) 100 mg/kg	Action inhibitrice ou toxique notée; essai négatif quant au pouvoir mutagène	NRC, 1981

7.5 Symptômes et conséquences de l'intoxication

Aucune référence n'est donnée pour les symptômes de nature courante mentionnés dans la plupart des documents consultés. Seuls les symptômes ou troubles de nature particulière sont suivis de la référence appropriée.

7.5.1 Inhalation

1. Irritation des muqueuses.
2. Maux de tête (AAR, 1981).
3. Nausées.
4. Vomissements.
5. Modification des réflexes conditionnés (OHM-TADS, 1981).
6. Modification de la composition du sérum sanguin (OHM-TADS, 1981).
7. Perte de conscience (AAR, 1981).

7.5.2 Ingestion. - La documentation consultée ne rapporte aucun cas d'ingestion. En pareilles circonstances, les muqueuses des voies digestives seraient sérieusement endommagées vu les propriétés irritantes du produit.

7.5.3 Contact avec la peau

1. Irritation.

7.5.4 Contact avec les yeux

1. Irritation.
2. Brûlures.

8 COMPATIBILITÉ CHIMIQUE

8.1 Compatibilité entre les butyraldéhydes et divers agents

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition brutale	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
En général														
Chaleur, feu		•	•										Liquide inflammable; les vapeurs forment un mélange explosif avec l'air	Sax, 1979; NFPA, 1978
Corps chimiques														
Acide chlorosulfonique	•							•					Si dans un récipient fermé	NFPA, 1978
Acide nitrique titrant 70 p. 100	•							•						NFPA, 1978
Acide sulfurique titrant 96 p. 100	•							•						NFPA, 1978
Oléum	•							•					Si dans un récipient fermé	NFPA, 1978
Groupes de corps chimiques														
Amines	•													EPA, 600/2-80-076
Caustiques	•			•										EPA, 600/2-80-076
Composés aliphatiques	•													EPA, 600/2-80-076
Composés azoïques	•												Formation possible d'azote	EPA, 600/2-80-076

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition brutale	Formation de vapeurs toxiques d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Composés nitrés	•											Risque de condensation	EPA, 600/2-80-076
Dithiocarbamates				•		•						Dégagement possible de disulfure de carbone toxique	EPA, 600/2-80-076
Métaux alcalino-terreux	•		•									Dégagement possible d'hydrogène	EPA, 600/2-80-076
Nitrures	•		•									Formation possible d'ammoniac	EPA, 600/2-80-076
Peroxydes organiques	•	•			•				•			Dégagement possible d'hydrogène	EPA, 600/2-80-076

9 MESURES D'INTERVENTION ET DE SÉCURITÉ

9.1 Mesures recommandées

Les brefs exposés qui figurent dans la présente section sont repris des ouvrages sur lesquels a porté notre enquête bibliographique. Leur formulation d'origine a été respectée afin d'éviter toute déformation de sens; ce faisant, il a été impossible d'empêcher que ne paraissent des contradictions entre les sources d'information. Toutefois, les contradictions touchant certaines mesures qui s'appliquent à des cas particuliers ne sont qu'apparentes, l'information pouvant être correcte ou non selon la situation. La mention d'une mesure ne constitue d'aucune façon une recommandation de la part d'Environnement Canada.

9.1.1 Danger d'incendie. - Les butyraldéhydes sont des liquides inflammables. Les vapeurs forment un mélange explosif avec l'air et elles peuvent atteindre des sources d'inflammation éloignées, avec risque de retour de flamme. Les butyraldéhydes s'enflamment facilement et le feu est difficile à maîtriser car il reprend facilement (NFPA, 1978). Les récipients exposés risquent d'exploser (ERG, 1980).

9.1.2 Moyens d'extinction. - L'eau n'est pas recommandée pour combattre le feu. Elle ne fait qu'agrandir le foyer. Par contre, elle servira à refroidir les récipients exposés aux flammes. En présence de butyraldéhydes n'ayant pas pris feu, pulvériser les vapeurs avec de l'eau (NFPA, 1978).

Petit feu: poudre sèche, neige carbonique, eau pulvérisée, mousse anti-alcool.

Grand feu: eau pulvérisée, brouillard d'eau ou mousse anti-alcool.

Retirer les récipients de la zone de l'incendie si cela ne présente aucun danger. Se tenir éloigné des têtes des réservoirs. En cas d'incendie majeur, utiliser des lances sur affût télécommandées ou des lances à tourelle (ERG, 1980).

9.1.3 Mesures d'intervention en cas de déversement

9.1.3.1 Information générale. - Arrêter la fuite ou réduire le débit si cela ne présente aucun danger. Éliminer toute source d'inflammation et arrêter immédiatement tout moteur ou équipement en marche. Éviter que le produit vienne en contact avec la peau et ne pas inhaler les vapeurs qu'il dégage.

Le sorbant Hycar devrait être efficace pour supprimer les vapeurs et confiner un déversement de butyraldéhydes (ICI, 1982).

9.1.3.2 Déversement sur le sol. - Endiguer la nappe si possible. Absorber le produit répandu avec du sable ou autres matériaux incombustibles. Ramasser à la pelle et mettre dans des récipients en vue de l'élimination (ERG, 1980).

9.1.3.3 Déversement dans l'eau. - Confiner la nappe si possible. Les matières suivantes peuvent servir pour absorber le produit déversé: charbon actif, mousse de polyuréthane, fibres de polypropylène, fibres cellulosiques, Amberlite XAD-1-8 et fibres de polyoléfine (TSA, 1980).

Un autre moyen est de traiter l'eau polluée avec des boues activées (Metry, 1980). On peut en un jour éliminer de 70 à 90 p. 100 du polluant en bassin anaérobie. Lors d'un autre essai avec des boues activées, la DTO (demande théorique en oxygène) a chuté de 14 p. 100 en 6 h, de 21,7 p. 100 en 12 h et de 22,8 p. 100 en 24 h.

Le strippage à l'air a éliminé 85 p. 100 du produit en 8 heures. Par osmose inverse, on a récupéré 72,1 p. 100 du produit à partir d'une solution à 0,01 *M*. Avec le charbon actif, on parvient à absorber 0,106 g de butyraldéhydes par gramme de charbon. Le taux d'élimination a atteint 52,8 p. 100 avec 1000 mg de charbon actif par litre (Verschueren, 1984).

9.1.4 Élimination du polluant. - Les butyraldéhydes recueillis ne seront *sous aucun prétexte* rejetés directement dans un égout ou des eaux de surface. Les boues résultant du traitement de l'eau polluée, soit sur place ou dans une installation spécialisée, peuvent être éliminées dans une décharge contrôlée.

9.1.5 Appareils et vêtements de protection. - Si l'on doit pénétrer dans une zone alors qu'on ne connaît pas la nature et les caractéristiques du produit déversé, il est impératif de revêtir un scaphandre résistant aux produits chimiques et de porter un appareil respiratoire isolant.

Si le produit déversé est du butyraldéhyde, l'équipe d'intervention doit:

- Porter des lunettes de sécurité résistant aux produits chimiques, des lunettes de protection monocoque ou une visière pare-acide de 20 cm au moins (MCA, 1960);
- Porter un appareil respiratoire isolant ou un respirateur à tuyau souple fonctionnant à la demande, à pression positive, ou un respirateur à adduction d'air pur, ou un respirateur à cartouche chimique, pour empêcher l'inhalation des vapeurs de butyraldéhyde (MCA, 1960);
- Porter des vêtements protecteurs contre les agents chimiques, de préférence en butyle. Ce matériau offre une excellente résistance aux butyraldéhydes (EE-20).

9.1.6 Entreposage. - Entreposer les récipients de manière à ce qu'ils ne puissent être heurtés, de préférence à l'extérieur ou dans un local non attenant à une bâtisse. En cas d'entreposage à l'intérieur, les récipients seront stockés dans un local ou un placard conformes aux normes établies pour les liquides inflammables. Les réservoirs de stockage peuvent être en aluminium, acier inoxydable ou chemisé de verre, avec un gaz inerte de couverture. Ne pas entreposer d'oxydants dans le même local ou à proximité (NFPA, 1978).

10 CAS D'ACCIDENTS

10.1 Information générale

L'information contenue dans la présente section aidera le lecteur à comprendre les mesures d'intervention prises en cas de déversement. Seuls des cas qui offrent un intérêt pour le lecteur figurent dans la présente section; en conséquence, le nombre de cas décrits ne traduit ni l'ampleur du problème, ni la fréquence des accidents. Toute nouvelle information pertinente sera incluse dans les éditions ultérieures, au fil des progrès réalisés dans le domaine des techniques d'intervention.

En ce qui concerne les butyraldéhydes, nous n'avons trouvé dans la documentation consultée aucun cas digne d'être porté à l'attention du lecteur.

11 IDENTIFICATION ET DOSAGE DU POLLUANT

Les méthodes d'analyse utilisées pour l'identification et le dosage des polluants chimiques d'intérêt prioritaire sont expliquées dans les lignes qui suivent.

Les méthodes décrites et les références signalées ont été choisies en fonction d'analyses d'échantillon d'air, d'eau et de sol devant être faites dans un laboratoire de chimie doté d'un équipement standard, éloigné du lieu d'où proviennent les prélèvements. Les auteurs ont consulté les sources habituelles exposant les méthodes normalisées ou recommandées, et décrit sommairement celles qui s'appliquent à chaque produit chimique. Parmi ces sources, on compte des publications du National Institute Occupational Safety and Health des États-Unis (NIOSH), de l'Environmental Protection Agency des États-Unis (EPA), de l'American Water Works Association, de l'American Society for Testing and Materials et de l'American National Standards Institute.

Lorsque les méthodes normalisées ou recommandées ont été jugées fiables et suffisamment spécifiques pour l'analyse des échantillons provenant de matières déversées et du milieu touché et lorsqu'elles ne nécessitaient pas un équipement de laboratoire hautement spécialisé, nous n'avons pas cherché plus loin.

Enfin, lorsque nous avons découvert des tests simples et fiables, couramment utilisés dans l'industrie, nous les avons signalés.

11.1 Dosage des butyraldéhydes présents dans l'air (analyse quantitative)

11.1.1 Chromatographie liquide haute pression (NIOSH, 1979). - La méthode utilisée pour l'acétaldéhyde convient et permet de déceler des teneurs atmosphériques en butyraldéhydes allant de 170 à 670 $\mu g/m^3$ (57,6 à 227,2 ppm).

Un volume connu d'air est aspiré dans un mini-barboteur contenant 15 ml de réactif T de Girard. On recommande de prélever un échantillon de 60 l à raison de 500 ml/mn. On prépare le réactif T de Girard en dissolvant 5,39 g d'acide nitrique, 6,63 g de phosphate disodique et 16,77 g de réactif T de Girard dans approximativement 400 ml d'eau distillée. La solution est transférée dans un ballon jaugé de 500 ml et étendue au volume. Conserver la solution à l'abri de la lumière.

Transférer 5 ml de l'échantillon dans un ballon de 100 ml et porter au volume avec un éluant normalisé de monohydrogénophosphate de sodium 0,022 *M* et de dihydrogénophosphate de sodium 0,019 *M*, préparé en combinant 100 ml de solution-mère d'éluant et 200 ml d'éthanol à 95 p. 100 et porter à 1 litre avec de l'eau distillée. (On prépare la solution-mère d'éluant en dissolvant 31,2 g de monohydrogénophosphate de sodium et 26,2 g de dihydrogénophosphate de sodium dans 1 litre d'eau distillée.) Injecter 0,5 ml de l'échantillon dans un chromatographe liquide haute pression.

La teneur de l'échantillon en butyraldéhydes est déterminée à l'aide d'un intégrateur électronique qui mesure l'aire des pics, et on compare les résultats à une courbe d'étalonnage.

Les constantes typiques du chromatographe liquide haute pression sont les suivantes: une boucle d'échantillonnage de 50 µl; colonne à la température ambiante; débit de 0,75 ml/mn; une phase mobile de monohydrogénophosphate de sodium 0,022 *M* et de dihydrogénophosphate de sodium 0,019 *M* dans de l'éthanol à 20 p. 100; un détecteur U.V.; longueur d'onde analytique, 245 nm; colonne en acier inox de 50 cm de longueur par 2 mm de diamètre intérieur, remplie de Zipax SCX.

11.2 Identification des butyraldéhydes présents dans l'air (analyse qualitative)

On peut, avec un tube de Dräger pour acétaldéhyde, mesurer des teneurs atmosphériques en butyraldéhydes supérieures à 100 ppm. Un volume connu d'air est aspiré dans le tube de Dräger pour acétaldéhyde à l'aide d'un détecteur Dräger. Le changement de couleur du réactif orange vers le vert brunâtre indique que l'échantillon contient des butyraldéhydes de moindre sensibilité. Le changement de couleur est basé sur la réaction entre un aldéhyde et l'acide chromosulfurique (Dräger, 1979).

11.3 Dosage des butyraldéhydes présents dans l'eau (analyse quantitative)

11.3.1 Spectrophotométrie dans l'infrarouge (AWWA, 1981). - Cette méthode permet le dosage des butyraldéhydes à des teneurs supérieures à 40 ppm (ou moins si l'on a recours à des techniques de concentration).

Prélever au moins 1 litre de l'eau à analyser dans un récipient convenable et acidifier à pH 2 ou moins par addition d'environ 5 ml d'acide chlorhydrique dilué. Transvaser dans une ampoule à décantation. Rincer le récipient ayant contenu l'échantillon à analyser avec 30 ml de Fréon® 113 (trichloro-1,1,2 trifluoro-1,2,2 éthane) et ajouter les rinçures au contenu de l'ampoule à décantation. Verser la couche de solvant dans une fiole jaugée de 100 ml. Extraire à deux autres reprises avec 30 ml de Fréon® 113 et réunir les extraits dans la fiole. Compléter au trait de jauge avec du Fréon®. Des teneurs inférieures à 40 ppm peuvent être dosées si la méthode est adaptée au départ.

Le dosage se fait à l'aide d'un spectrophotomètre I.R. équipé de deux cellules appariées de 1 cm. L'échantillon est analysé par balayage dans le domaine de 2800 à 1000 cm^{-1}. Les résultats de l'analyse sont rapportés à une courbe d'étalonnage.

11.4 Identification des butyraldéhydes présents dans l'eau (analyse qualitative)

L'échantillon est recueilli et extrait tel que décrit en 11.3.1. Un volume de 0,5 ml d'une solution de nitrate d'argent à 5 p. 100 est transféré dans un tube à essai propre. Ajouter goutte à goutte de l'ammoniaque diluée jusqu'à ce que le précipité formé au départ commence à se

dissoudre. Ajouter le moins possible d'échantillon, agiter le mélange et chauffer au bain-marie entre 50 et 60 °C. La formation d'un miroir d'argent sur les parois du tube à essai indique la présence d'un aldéhyde (Owen, 1969).

11.5 Dosage des butyraldéhydes présents dans le sol (analyse quantitative)

11.5.1 Spectrophotométrie dans l'infrarouge (AWWA, 1981). - Cette méthode permet le dosage de butyraldéhydes présents dans le sol à des teneurs supérieures à 40 ppm.

On recueille dans un pot de verre 20 g de sol pesés exactement. On sèche l'échantillon par addition de sulfate de magnésium. Extraire les butyraldéhydes au Fréon® 113 (trichloro-1,1,2 trifluoro-1,2,2 éthane).

Combiner les extraits dans une fiole jaugée de 100 ml et compléter au trait de jauge avec du Fréon®. Analyser au moyen d'un spectrophotomètre approprié muni de deux cuves appariées de 1 cm, entre 2800 à 1000 cm^{-1}. Les résultats de l'analyse sont rapportés à une courbe d'étalonnage.

11.6 Identification des butyraldéhydes présents dans le sol (analyse qualitative)

L'échantillon est recueilli et extrait tel qu'indiqué en 11.5.1. On analyse au moyen d'un spectrophotomètre approprié équipé de deux cuves appariées, entre 2800 à 1000 cm^{-1}. La présence de bandes d'absorption caractéristiques indique que l'échantillon contient des butyraldéhydes (AWWA, 1981).

12 RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE
(reproduction intégrale de l'édition anglaise)

12.1 Références

AAR 1981: BDM Corporation, The AAR Hazardous Materials Data Base, Prepared for the Association of American Railroads, Parts I and II, McLean, VA (May, 1981).

AWWA 1981: American Water Works Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 15th Edition, American Public Health Association, Washington, DC, Method 503B (1981).

Blokker 1971: Blokker, P.C., Migration of Oil in Soil, Presented at International Conference "Antinquinamenta 71", Milan Fair of Anti-Pollution Equipment, Report No. 9/71, Milan, Italy (November, 1971).

* CBG 1980: Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 9, Don Mills, Ontario (December, 1980).

CCD 1977: Hawley, G.G., The Condensed Chemical Dictionary, ninth edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1977).

CG-D-38-76: Bauer, W.H. et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-D-38-76 (August, 1975).

CHRIS 1974: U.S. Department of Transportation, CHRIS Hazard Assessment Handbook, U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-446-3 (April, 1974).

CHRIS 1978: U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, DC (1978).

Corpus 1983: Corpus Information Services Ltd., "Butyraldehydes", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario (1983).

CRC 1980: Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH (1980).

DCRG 1978: Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, MI (1978).

Dillon 1982: M.M. Dillon Ltd., Survey of Countermeasures Systems for Hazardous Material Spills, Environment Canada, Ottawa, Canada (1982).

Doc. TLV 1981: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, Fourth Edition, Cincinnati, OH (1981).

Dow PPS 1972: Dow Chemical Company, Dow Plastic Lined Piping Systems, Midland, MI, Brochure 178-102-72 (1972).

DPPED 1967: DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario (1967).

* Publié également en français.

Drager 1979: Leichnitz, K. (ed.), "Air Investigations and Technical Gas Analysis with Drager Tubes", Detector Tube Handbook, fourth edition, Lubeck, Germany, p. 29 (1979).

EE-20: Buchan, Lawton, Parent Ltd., A Survey of Self-Contained Breathing Apparatus and Totally-Encapsulated Chemical Protection Suits, unedited version (not dated).

EPA 600/2-80-076: Hatayama, H.K., J.J. Chen, E.R. deVera, R.D. Stephens and D.L. Storm, A Method for Determining the Compatibility of Hazardous Wastes, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH (April, 1980).

ERG 1980: U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, DC (1980).

FKC 1975: Lowenheim, F.A. and M.K. Moran, Faith, Keye's and Clark's Industrial Chemicals, Wiley-Interscience, New York, NY (1975).

Freeze and Cherry 1979: Freeze, R.A. and J.A. Cherry, Groundwater, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ (1979).

Gerhold 1966: Gerhold, R.M. and G.W. Maloney, "Structural Determinants in the Oxidation of Aliphatic Compounds by Activated Sludge", J. Water Pollut. Control Fed. (1966).

Hansch and Leo 1979: Hansch, C. and A. Leo, Substitute Constants for Correlation Analysis in Chemistry and Biology, John Wiley & Sons Inc., New York, NY (1979).

Henkelekian 1955: Henkelekian, H. and M.C. Rand, "Biochemical Oxygen Demand of Pure Organic Compounds", Sewage Indus. Wastes (1955).

Hernandez 1977: Hernandez, R., P. Masclet and G. Mouvier, Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, Vol. 10, p. 333 (1977).

ICI 1982: Imperial Chemical Industries, Treatment of Organic Compounds, Appendix 7, Cheshire, England (April, 1982).

ISH 1977: Noyes Data Corporation, Industrial Solvents Handbook, Park Ridge, NJ (1977).

Jones 1971: Jones, H.R., Environmental Control in the Organic and Petrochemical Industries, Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ, pp. 8-25 (1971).

JSSV 1979: Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, New York (1979).

JWPCF 1982: Journal of the Water Pollution Control Federation, 54 (6) p. 885 (1982).

Kirk-Othmer 1978: Grayson, M. and D. Eckroth (eds.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, Vol. 4, John Wiley & Sons Inc., New York, NY (1978).

Lange's Handbook 1979: Dean, J.A. (ed.), Lange's Handbook of Chemistry, 12th edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1979).

MCA 1960: Manufacturing Chemists Association, Chemical Safety Data Sheet, Washington, DC (March, 1960).

Merck 1976: Windholz, M., S. Budavari, L.Y. Stroumtsos and M.N. Fertig (eds.), The Merck Index, Ninth Edition, Merck & Co. Inc., Rahway, NJ (1976).

Metry 1980: Metry, A.A., The Handbook of Hazardous Waste Management, Technomic Publishing Company, Inc., Westport, CT (1980).

* MWPP 1978: Rehau Industries Ltd., Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec (1978).

NFPA 1978: National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, seventh edition, Boston, MA (1978).

NIOSH 1979: National Institute for Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, second edition, Vol. 5, S. 345, Cincinnati, OH (August, 1979).

NRC 1981: National Research Council, Formaldehyde and Other Aldehydes, Academy Press, Washington, DC (1981).

OHM-TADS 1981: Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, DC (1981).

Owen 1969: Owen, T.C., Characterization of Organic Compounds by Chemical Methods, Marcel Dekker, Inc., New York, NY, p. 154 (1969).

Perry 1973: Perry, R.H. and C.H. Chilton (eds.), Chemical Engineer's Handbook, fifth edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1973).

PPH 1984: Gallant, R.W. and J.M. Railey, Physical Properties of Hydro Carbons, Gulf Publishing Company, Houston, TX (1984).

Rouse 1961: Rouse, H., Fluid Mechanics for Hydrauiic Engineers, Dover Publications, Inc., New York, NY (1961).

* RTDCR 1974: Canadian Transport Commission, Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, published by Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario (1974).

RTECS 1979: Lewis, R.J. and R.L. Tatken, Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, OH (September, 1980).

Ryerman 1966: Ryerman, D.W., A.V.S. Prabhakava Rho and J.C. Buzzell, Jr., Behaviour of Organic Chemicals in the Aquatic Environment, Manufacturing Chemists Association, Washington, DC (1966).

Salem 1960: Salem, H. and H. Cullumbine, "Inhalation Toxicities of Some Aldehydes", Toxicol. Appl. Pharmacol., 2, pp. 183-187 (1960).

* Publié également en français.

Sax 1979: Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, fifth edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1979).

Streeter 1971: Streeter, V.L., Fluid Mechanics, fifth edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1971).

Sussex 1977: Pedley, J.B. and J. Rylance, Sussex-N.P.L. Computer Analysed Thermochemical Data: Organic and Organometallic Compounds, University of Sussex, Sussex, Brighton, England (1977).

TCM 1979: General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, IL (May, 1979).

* TDGC 1980: Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Canada (June, 1980).

TSA 1980: Shuckrow, A.J., A.P. Pajak and J.W. Osheka, Concentration Technologies for Hazardous Aqueous Waste Treatment, Touhill, Shuckrow and Associates, Inc., Pittsburgh, PA (1980).

Ullmann 1975: Ullmanns Encyklopaedie der technischen Chemie, Verlag Chemie, Weinheim (1975).

Verschueren 1984: Verschueren, K., Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1984).

12.2 Bibliographie

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, fourth edition, Cincinnati, OH (1981).

American Water Works Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 15th edition, American Public Health Association, Washington, DC, Method 503B (1981).

Bauer, W.H. et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-D-38-76 (August, 1975).

BDM Corporation, The AAR Hazardous Materials Data Base, prepared for the Association of American Railroads, Parts I and II, McLean, VA (May, 1981).

Blokker, P.C., Migration of Oil in Soil, Presented at International Conference "Antinquinamenta 71", Milan Fair of Anti-Pollution Equipment, Report No. 9/71, Milan, Italy (November, 1971).

Buchan, Lawton, Parent Ltd., A Survey of Self-Contained Breathing Apparatus and Totally-Encapsulated Chemical Protection Suits, unedited version (not dated).

Canadian Transport Commission, Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, published by Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario (1974).

* Publié également en français.

Corpus Information Services Ltd., "Butyraldehydes", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario (May, 1981).

Dean, J.A. (ed.), Lange's Handbook of Chemistry, 12th edition, McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, NY (1979).

M.M. Dillon Ltd., Survey of Countermeasures Systems for Hazardous Material Spills, Environment Canada, Ottawa, Canada (1982).

DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario (1967).

Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, MI (1978).

Dow Chemical Company, Dow Plastic Lined Piping System, Midland, MI, Brochure 178-102-72 (1972).

Freeze, R.A. and J.A. Cherry, Groundwater, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ (1979).

Gallant, R.W. and J.M. Railey, Physical Properties of Hydro Carbons, Gulf Publishing Company, Houston, TX (1984).

General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, IL (May 1979).

Gerhold, R.M. and G.W. Maloney, "Structural Determinants in the Oxidation of Aliphatic Compounds by Activated Sludge", J. Water Pollut. Control Fed. (1966).

Grayson, M. and D. Eckroth (eds.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, Vol. 4, John Wiley & Sons Inc., New York, NY (1978).

Hansch, C. and A. Leo, Substitute Constants for Correlation Analysis in Chemistry and Biology, John Wiley & Sons Inc., New York, NY (1979).

Hatayama, H.K., J.J. Chen, E.R. deVera, R.D. Stephens and D.L. Storm, A Method for Determining the Compatibility of Hazardous Wastes, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH (April, 1980).

Hawley, G.G., The Condensed Chemical Dictionary, ninth edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1977).

Henkelekian, H. and M.C. Rand, "Biochemical Oxygen Demand of Pure Organic Compounds", Sewage Ind. Wastes (1955).

Hernandez, R., P. Masclet and G. Mouvier, Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, 10 (333) (1977).

Imperial Chemical Industries (ICI), Treatment of Organic Compounds, Appendix 7, Cheshire, England (April, 1982).

Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, NY (1979).

Jones, H.R., Environmental Control in the Organic and Petrochemical Industries, Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ, pp. 8-25 (1971).

Journal of the Water Pollution Control Federation, 54 (6) p. 885 (1982).

Leichnitz, K. (ed.), "Air Investigations and Technical Gas Analysis with Drager Tubes", Detector Tube Handbook, fourth edition, Lubeck, Germany, p. 29 (1979).

Lewis, R.J. and R.L. Tatken, Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, OH (September, 1980).

Lowenheim, F.A. and M.K. Moran, Faith, Keye's and Clark's Industrial Chemicals, Wiley-Interscience, New York, NY (1975).

Manufacturing Chemists Association, Chemical Safety Data Sheet, Washington, DC (March, 1960).

Metry, A.A., The Handbook of Hazardous Waste Management, Technomic Publishing Company, Inc., Westport, CT (1980).

National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, Seventh Edition, Boston, MA (1978).

National Institute for Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, second edition, Vol. 5, S. 345, Cincinnati, OH (August, 1979).

National Research Council, Formaldehyde and Other Aldehydes, Academy Press, Washington, DC (1981).

Noyes Data Corporation, Industrial Solvents Handbooks, Park Ridge, NJ (1977).

Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, DC (1981).

Owen, T.C., Characterization of Organic Compounds by Chemical Methods, Marcel Dekker, Inc., New York, NY, p. 154 (1969).

Pedley, J.B. and J. Rylance, Sussex-N.P.L. Computer Analysed Thermochemical Data: Organic and Organometallic Compounds, University of Sussex, Sussex, Brighton, England (1977).

Perry, R.H. and C.H. Chilton (eds.), Chemical Engineer's Handbook, fifth edition, McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, NY (1973).

* Rehau Industries Ltd., Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec (1978).

Rouse, H., Fluid Mechanics for Hydraulic Engineers, Dover Publications, Inc., New York, NY (1961).

---

* Publié également en français.

Ryerman, D.U., A.V.S. Prabhakava Rho and J.C. Buzzell, Jr., Behaviour of Organic Chemicals in the Aquatic Environment, Manufacturing Chemists Association, Washington, DC (1966).

Salem, H. and H. Cullumbine, "Inhalation Toxicities of Some Aldehydes", Toxicol. Appl. Pharmacol., 2, pp. 193-187 (1960).

Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, fifth edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1979).

Shuckrow, A.J., A.P. Pajak and J.W. Osheka, Concentration Technologies for Hazardous Aqueous Waste Treatment, Touhill, Shuckrow and Associates, Inc., Pittsburgh, PA (1980).

Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Don Mills, Ontario, Vol. 64, No. 9 (December, 1980).

Streeter, V.L., Fluids Mechanics, fifth edition, McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, NY (1971).

* Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Canada (June, 1980).

Ullmanns Encyklopaedie der technischen Chemie, Verlag Chemie, Weinheim (1975).

U.S. Department of Transportation, CHRIS Hazard Assessment Handbook, U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-446-3 (April, 1974).

U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, Research and Special Programs Administration, Materials Transporation Bureau, Washington, DC (1980).

U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, DC (1978).

Verschueren, K., Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1984).

Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH (1980).

Windholz, M., S. Budavari, L.Y. Stroumtsos and M.N. Fertig (eds.), The Merck Index, ninth edition, Merck & Co. Inc., Rahway, NJ (1976).

* Publié également en français.